Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No.1, 2024, p. 69-88

The Effect of Chemical Processing Through Steam Flaking or Steam Infrared Flaking of Barley Grain on Physical and Chemical Properties, and Protein and Carbohydrates Fractionation

Amir Honarmand[1], **Seyed Alireza Vakili**[2*], **Mohsen Danesh Mesgaran**[2], **Abdolmansour Tahmasebi**[2]

1 and 2- PhD. Candidate and Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
*Corresponding Author's Email: savakili@um.ac.ir

Received: 03-01-2023 Revised: 28-02-2023 Accepted: 01-03-2023 Available Online: 01-03-2023	**How to cite this article:** Honarmand, A., Vakili, S. A., Danesh Mesgaran, M., & Tahmasebi, A. (2023). The effect of chemical processing through steam flaking or steam infrared flaking of barley grain on physical and chemical properties, and protein and carbohydrates fractionation. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *16*(1), 475-488. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijasr.2023.82800.1151

Introduction: Barley grain is the main feed for cattle in many regions of the world. The digestibility of barley grain is restricted by its fibrous shell and intact pericarp. The extent and rate of digestion of ruminal carbohydrates and barley grain can be manipulated through processing. Barley processing can be a valuable tool to optimize the production of lactating dairy cows. The application of combinations of heat, moisture, time and mechanical action may influence the quality of processed barley grains. Micronization is a rapid thermal treatment (30-90s) using infrared radiation and has great application potential in the feed industry due to simple construction and operation. It has been demonstrated in a number of experiments that organic acids, including lactic acid and malic acid, alter the chemical composition and nutritional value of cereals. Essential oils are naturally occurring plant products that are rich in chemical composition and have various biological properties. The interactions between starch and phenolic compounds have attracted increasing attention in recent years. The aim of this study was developed to determine the impact of chemical processing through steam flaking or steam-infrared flaking of barley grain on physical and chemical properties, and protein and carbohydrate fractionations.

Materials and Methods: The ethanolic *Foeniculum vulgare* (Pv) or *Acanthophyllum* (Ap) extract were prepared by dissolving 100 g of dried and ground Pv or Ap in 500 mL of 96% v/v ethanol/water and shaking for 72 h. Then, the extracts were filtered through a Whatman No. 1 paper (Whatman Ltd., Maidstone, England). The residual solvent from the ethanolic extract was removed using a rotary evaporator. Barley grain was then mixed thoroughly with distilled water at a ratio of 10% by weight and treated with either 1% lactic acid (La) or 1% malic acid (Ma). Subsequently, the samples were treated with a 5% solution of Ap or Pv. The processed grains were steamed for approximately 35 minutes at 96°C. The steam-cooked grains were then divided into two groups, with one group exposed to infrared radiation for 55 seconds (SIF). All cooked grains were then flaked (SF) using a designed flaker machine. Physical properties, following the Giger-Reverdin method (2000), and chemical composition, based on AOAC standards (2012), of the samples were then analyzed. Crude protein was calculated as N × 625. NDF and

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.
https://doi.org/10.22067/ijasr.2023.82800.1151

ADF contents were determined according to the method proposed by Van Suste et al. (1991). Starch content was evaluated using anthrone and sulfuric acid (Rose et al., 1991). Bulk density was determined by weighing 100 ml of the samples. Water holding capacity was assessed using the method described by Robertson and Eastwood (1998).The grain density was defined as the ratio of the mass of the grain to the particle volume occupied by the sample (Aghajani *et al*., 2012). Crude protein and carbohydrate fractionations were performed according to Higgs *et al* (2015). Carbohydrates were divided into five fractions based on different degradation rates in the rumen: A4 (water soluble carbohydrates or sugar), B1 (starch), B2 (soluble fiber), B3 (digestible fiber), and CC (ingestible fiber).

Results and Discussion: All the physical properties of the processed barley grain were significantly affected by chemically and physically methods applied in this study (P < 0.05). The highest bulk density and water holding capacity were shown in both SF and SIF processing. The results of this study indicated that the contents of CP, ADF, NDF, EE,Ash, amylose and amylopectine were significantly affected by the chemically and physically processing (P< 0.05). The CP content of the grains treated with Ap and Ma had higher compared with that of Pv and La. In addition, NDF concentration of the grains processed by SF method was greater than that of SIF (P < 0.05). Both CP and NDF content of the processed grain were higher for ($SIFB_{ApMa}$) and ($SIFB_{ApLa}$) rather than those of the other treatments (P< 0.05). The soluble true protein, insoluble true protein and indigestible protein fractions of the processed grain were affected by both chemically and physically processing methods (P < 0.05). The soluble true protein fraction in the grain treated by Ap was greater than that of the Pv. The indigestible protein fraction increased in Pv treatments compared the Ap treatments. Significant differences were found between the processed grains regarding the total carbohydrates, non-fiber carbohydrates, soluble fiber, digestible fiber and Indigestible fiber carbohydrate fractions (P<0.05). The carbohydrates, non-fiber carbohydrates and soluble fiber carbohydrate fractions were greater (P< 0.05) in the SIF than those of SF method. Digestible fiber and Indigestible fiber fractions were lower (P< 0.05) in La than Ma treatments.

Conclusion: Our results demonstrate that processed barley grain with organic acids (Malic acid or Lactic acid) and using extracts of *Acanthophyllum* or *Foeniculum vulgare* accumpany through physical processing (steam flaking or steam- infrared -flaking) make an improvement in nutritional value of the grain. In this study, bulk density and water holding capacity were greater in steam flaking rather than steam-infrared-flaking method. Regarding the CP fractionations, processed barley grain with *Acanthophyllum* extract through steam-infrared-flaking displayed significant alter in the fractions. Lactic acid processed grain through steam-infrared-flaking showed an enhancedment in both non fiber carbohydrates and soluble fiber concentration of the grain. Present data showed a positive impact of both chemically and physically methods applied in barely grain, however, further investigation regarding protein and carbohydrate molecular responses are needed to be evaluated.

Keywords: Barley grain, Chemically, Physically, Protein, Carbohydrate

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، ص. ۸۸-۶۹

تأثیر فرآوری‌های شیمیایی همراه با پخت رطوبتی- حرارتی- تشعشعی دانه جو پولکی شده بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌ها

امیر هنرمند[۱] ، سید علیرضا وکیلی[۲*]، محسن دانش مسگران[۲]، عبدالمنصور طهماسبی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

چکیده

این آزمایش به‌منظور بررسی تأثیر عمل‌آوری دانه کامل جو با عصاره‌های چوبک، رازیانه، اسید مالیک و یا اسیدلاکتیک همراه با فرآوری فیزیکی بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعیِ مادون قرمز- پولکی بر ویژگی‌های فیزیکی، ترکیب شیمیایی و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌های دانه انجام شد. عمل‌آوری‌های شیمیایی دانه عبارت بودند از: دانه جو بدون افزودنی، دانه جو فرآوری شده با چوبک و اسید مالیک، دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و اسید لاکتیک، دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و اسید مالیک، دانه جو عمل شده با رازیانه و اسید لاکتیک که هرکدام با یکی از روش‌های فیزیکی بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعیِ مادون قرمز- پولکی همراه شدند. ویژگی‌های فیزیکی شامل جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب، جرم حجمی و حجم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند (P<۰/۰۵). نتایج نشان داد که غلظت مواد مغذی (به‌جز نشاسته و قندهای محلول) دانه‌های فرآوری شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر روش‌های شیمیایی و فیزیکی استفاده شده در این آزمایش قرار گرفت (P<۰/۰۵). بخش‌های پروتئین حقیقی محلول، پروتئین حقیقی نامحلول و پروتئین غیر قابل هضم در ویرایش ۶/۵ سیستم CNCPS دارای تفاوت معنی‌دار در بین تیمارهای آزمایشی بودند (P<۰/۰۵). بخش‌بندی کربوهیدرات‌های دانه جو نشان داد که غلظت مجموع کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های غیر الیافی، الیاف محلول، الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم در بین تیمارهای آزمایشی متفاوت و معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). در روش بخارپز- پولکی غلظت‌های مجموع کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول در دانه‌های فرآوری شده به‌طور معنی‌داری کمتر از دانه‌های فرآوری شده به‌روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی بودند (P<۰/۰۵). نتایج این آزمایش نشان داد که عمل‌آوری دانه جو با عصاره گیاهی چوبک و اسید مالیک همراه با روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (تیمار ۷) بیشترین غلظت پروتئین خام در ترکیب شیمیایی و کمترین غلظت پروتئین غیر قابل هضم در بخش‌بندی پروتئین داشت. استفاده از اسید لاکتیک و عصاره رازیانه در عمل‌آوری دانه جو به‌همراه روش بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی (تیمار ۱۰) غلظت بخش‌های کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی افزایش داد که از نظر ارزش غذایی دانه حائز اهمیت است.

واژه‌های کلیدی: دانه جو، شیمیایی، فیزیکی، کربوهیدرات، نیتروژن.

مقدمه

مدیریت خوراک مصرفی از موارد اساسی است که به‌وسیله آن می‌توان تولید شیر و همچنین ترکیب آن را در کوتاه مدت در گاوهای شیری کنترل کرد (Brun-Lafleur *et al*., 2010). بهبود بازدهی خوراک در گاوهای شیری به فرمولاسیون دقیق جیره وابسته است. مواد مغذی مختلفی در فرآیند تولید شیر نقش دارند، ولی انرژی و پروتئین مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Fernando *et al*., 2010). برای استفاده حداکثری از پتانسیل ژنتیکی حیوان در تولید شیر، باید میزان استفاده و دسترسی منابع انرژی و پروتئین را برای حیوان افزایش داد (Knowlton, 2001). دانه غلات منبع اصلی ترکیبات گلوکوژنیک

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: savakili@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/ijasr.2023.82800.1151

جیره هستند، زیرا که بخش اصلی ماده خشک آن‌ها را نشاسته تشکیل داده و این نشاسته در آندوسپرم آن‌ها ذخیره می‌شود. لذا، انتخاب نوع دانه غلات از نظر میزان نشاسته در دسترس (انرژی در دسترس دانه) و نرخ تخمیر آن به‌هنگام تهیه و تنظیم جیره اهمیت زیادی دارد (González *et al*., 2012). دانه ذرت و جو، غلات اصلی در میان غلات مورد استفاده در جیره گاوهای شیری هستند، و به‌طور معمول استفاده از آن‌ها وابسته به دسترسی و قیمت آن‌ها است (Yang *et al*., 2000). دانه جو در مقایسه با دانه ذرت از پروتئین خام بالاتر و انرژی قابل هضم کمتری (به‌دلیل بیشتر بودن مقدار الیاف) برخوردار است. نشاسته دانه جو در دامنه ۵۵ تا ۶۵ درصد است، درحالی‌که این مقدار برای دانه ذرت در حدود ۷۰ درصد گزارش شده است (Zhao *et al*., 2015). در مورد نشاسته غلات، قابلیت تخمیر آن و آزادسازی اسیدهای چرب فرار (VFA[1]) دو بخش حائز اهمیت است. بخش نخست، توجه به مقدار نشاسته سریع تجزیه در انواع دانه‌ها است به‌عنوان نمونه این مقدار برای دانه جو ۲۲/۵ درصد و برای دانه ذرت ۷/۵ درصد است. بخش دومی که باید به آن توجه داشت، مقدار نشاسته‌ای است که دارای قابلیت تجزیه‌پذیری کندتر می‌باشد، این بخش در دانه ذرت بیشتر از دانه جو است (Yang *et al*., 2013). بافت‌های تشکیل‌دهنده دانه جو شامل پوسته، پریکارپ، تستا، لایه آلئورون، جوانه و آندوسپرم می‌باشند. شکسته شدن پوسته جو اولین دلیل فرآوری آن می‌باشد که در نتیجه آن، دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه و آنزیم‌های گوارشی روده به نشاسته (واقع در آندوسپرم) فراهم می‌شود (Corbett, 2000). این چنین بیان می‌گردد که مقدار زیاد دانه جو در جیره، منجر به تخمیر سریع نشاسته در شکمبه و متعاقباً کاهش pH آن می‌شود که ممکن است کاهش قابلیت هضم الیاف، مصرف خوراک و تولید شیر را منجر شود. به همین سبب، نمی‌توان تعیین نمود که استفاده از چه مقدار جو در جیره زیاد است و تعیین میزان آن وابسته به روش فرآوری آن است (Corbett, 2000). به‌طور کلی، فرآوری دانه غلات به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی می‌شوند (Humer and Zebeli, 2017). فرآوری‌های فیزیکی شامل فرآوری حرارتی و فرآوری غیر حرارتی می‌باشد. روش‌های بخارپز- پولکی[2] با و یا بدون استفاده از امواج حرارتی مادون قرمز[3] عنوان بهترین روش فیزیکی دانه غلات محسوب می‌شود (Sajjadi *et al*., 2022). عواملی همانند دما، رطوبت و فشار به‌صورت همزمان در روش پولکی- بخاری سبب تغییر ساختاری و شیمیایی گرانول‌های نشاسته و نیز ماتریکس پروتئینی پیرامون آن می‌شود و در نتیجه، گوارش‌پذیری نشاسته افزایش می‌یابد. این فرآیند باعث بهبود انرژی در دسترس میکروارگانیسم‌های شکمبه شده و تولید پروتئین میکروبی افزایش می‌یابد (Kokić *et al*., 2013). همچنین استفاده از نور مادون قرمز (روش میکرونیزه) به‌عنوان منبع تشعشعی- حرارتی، به‌دلیل بالا بودن پتانسیل انتقال حرارت از منبع نور به بافت‌های مواد خوراکی، موجب کاهش مدت زمان فرآوری، بازدهی مناسب انرژی و نیز افزایش کیفیت دانه‌های فرآوری شده می‌شود (Hebbar *et al*., 2004). اوپی لاک و همکاران (Opielak *et al*., 2004) بیان نمودند که میکرونیزه کردن مناسب (از نظر دما و زمان) دانه گندم سبب تغییر مقاومت آن‌ها در مقابل آسیاب کردن و یا پولکی شدن می‌شود. پولکی کردن دانه جو با بخار نسبت به غلطک خورده خشک آن انرژی قابل هضم را در حدود ۳/۵ درصد و انرژی خالص را هفت تا هشت درصد افزایش می‌دهد (Zinn *et al*., 1996). همچنین، پولکی کردن هضم شکمبه‌ای ماده آلی و نشاسته را نیز افزایش می‌دهد (Zinn *et al*., 1996). در سال‌های اخیر، علاقه به شناسایی روش‌های جدید فرآوری شیمیایی دانه غلات که برای حیوان بی‌خطر باشد و ویژگی‌های هضمی مواد مغذی را بهبود دهد، افزایش یافته است (Khampa and Wanapat, 2007). استفاده از اسیدهای آلی[4] در بهبود خصوصیات شیمیایی غلات یکی از این روش‌هاست. اسیدهای آلی متعلق به گروه نگهدارنده‌ها در لیست مواد افزودنی مجاز خوراک توسط اتحادیه اروپا است و استفاده از آن‌ها در حال حاضر در همه گونه‌های دام اهلی مجاز است. اسیدهای آلی در بافت‌های بیولوژیک بدن یافت شده یا در دستگاه گوارش تولید می‌گردد و در متعادل نمودن نرخ تخمیر در شکمبه نقش دارند (Khampa and Wanapat, 2007). استفاده از اسیدهای آلی یا نمک‌های آنان در فرآوری نشاسته جو و گندم نشان داده است که با تغییر در ساختار مولکولی نشاسته و افزایش مقاومت آن نسبت به هضم آمیلولایتیکی باعث کاهش نرخ هضم آن در شرایط درون تنی و برون تنی می‌شود (Harder *et al*., 2015). اسانس‌ها و عصاره‌های گیاهی ترکیبات مفیدی هستند که به‌عنوان یک افزودنی می‌توانند اثرات مثبتی بر هضم و سوخت و ساز شکمبه‌ای و سلامت حیوان داشته باشند. این ترکیبات از طریق تأثیری که بر باکتری‌های تولیدکننده آمونیاک دارند، می‌توانند غلظت آمونیاک در شکمبه را کاهش دهند (Benchaar *et al*., 2008). استفاده از ترکیبات فنولیک در فرآوری غلات می‌تواند یک روش مناسب در جهت محافظت از پروتئین و نشاسته در مقابل هضم شکمبه‌ای باشد. تأثیر آن‌ها بر ماهیت پروتئین‌ها می‌تواند نسبت بهینه بین پروتئین قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین عبوری را منجر گردد. ناصحی و همکاران (Nasehi *et al*., 2018) دانه جو را با عصاره ضایعات چای به‌عنوان منبع تانن در سطوح مختلف فرآوری کردند. هضم‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و نشاسته در دانه‌های فرآوری شده با غلظت

1- Volatile fatty acid
2- Steam-flaking
3- Micronizing
4- Organic acids

۱۰ درصد بیشترین کاهش را نشان داد. لذا، با توجه به اهمیت و لزوم فرآوری دانه جو، مطالعه حاضر به بررسی عمل‌آوری دانه جو با افزودنی‌های گیاهی و اسیدهای آلی همراه با فرآوری فیزیکی با روش بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، ترکیب شیمیایی و بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات‌ها پرداخته است. همچنین به‌کارگیری این نوع از فرآوری‌ها می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری خوراک، کاهش هزینه‌های تولید و در نهایت، کاهش خروج ارز برای واردات نهاده‌های مورد نیاز گردد. علاوه‌بر آن با افزایش راندمان هضم و جذب نشاسته و پروتئین بتوان از بروز اختلالات دستگاه گوارش در هنگام مصرف جیره بر پایه دانه جو جلوگیری نمود.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌های آزمایشی:

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه تغذیه دام گروه علوم دامی دانشگاه فردوسی مشهد انجام و دانه‌های جو وارداتی از کشور قزاقستان و واریته آن آسم[1] بود. ماده خشک (درصد) و غلظت مواد مغذی (گرم در کیلوگرم ماده خشک) دانه‌های جو مورد استفاده در این آزمایش عبارت بودند از: ماده خشک= ۹۱۰، پروتئین خام= ۱۱۳، دیواره سلولی (NDF)= ۲۱۳، دیواره سلولی بدون همی سلولز (ADF)= ۷۰ و نشاسته= ۵۵۵ گرم در کیلوگرم. تهیه عصاره‌های گیاهی براساس روش خیساندن به‌دست آمد. برای عصاره‌گیری دانه رازیانه[2] (Pv) و چوبک[3] (Ap) ابتدا ذرات اضافی جدا شدند سپس، به‌ازای هر ۱۰۰ گرم نمونه ۵۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد (نسبت چهار به یک به‌ترتیب برای الکل و آب مقطر) به آن‌ها افزوده شد. برای استخراج عصاره نمونه‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت بر روی دستگاه همزن (GFL،Orbital shaker 3005) قرار داده شدند. بعد از گذشت زمان مذکور، محتویات با کاغذ صافی شماره ۱ صاف شدند. محلول‌های صاف شده به‌وسیله دستگاه روتاری اواپراتور (Rotary evaporators LABOROTA4000) غلیظ شدند. عصاره به‌دست آمده در ظرف فویل آلومینیومی کشیده شده ریخته شده و تا زمان آزمایش درون یخچال در دمای چهار درجه سلسیوس نگهداری شدند.

دانه‌های خام جو پس از الک شدن در ظرف پلاستیکی قرار داده شدند. ابتدا ۱۰ درصد از وزن دانه به آن‌ها آب مقطر اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. سپس براساس یک درصد وزن دانه‌ها به آن‌ها اسید لاکتیک (La) با خلوص ۸۵ درصد (Metzler-Zebeli *et al*., 2014) و یا یک درصد اسید مالیک (Ma) با خلوص ۹۹ درصد (Humer and Zebeli, 2017) افزوده شد و همانند مرحله قبل کاملاً مخلوط گردید. در انتها، به‌میزان پنج درصد یکی از عصاره‌های گیاهی به آن‌ها اضافه شد و کاملاً مخلوط گردید. دانه‌های جو مخلوط با افزودنی‌های بالا در دستگاه بخارپز ریخته شده و به‌مدت یک ساعت مورد پخت با بخار قرار گرفتند (بخار اشباع و دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد). بعد از خارج کردن دانه‌ها از محفظه بخار، بخشی از آن‌ها بلافاصله با دستگاه میکرونایزر مورد فرآوری قرار گرفتند. منبع امواج در این مدل میکرونایزر آزمایشگاهی سفال‌هایی بودند که به‌وسیله المنت برقی حرارت داده شده بودند. زمان قرارگیری در معرض امواج ۵۵ ثانیه بود، به‌گونه‌ای که دمای سطحی دانه به ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسید و نمونه‌ها در این مدت به‌وسیله ویبراتور تکان داده می‌شدند. فاصله دانه‌ها تا منبع تشعشع مادون قرمز (فرکانس ۱۲۰۰ نانومتر و دمای ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سلسیوس) نه سانتی‌متر بود. پس از استفاده از امواج بلافاصله در دستگاه فلیکر (مقیاس آزمایشگاهی) دانه‌ها به‌شکل پولک درآمدند (SIF). بخشی دیگر از دانه‌های فرآوری شیمیایی و بخارپز شده پس از خروج از محفظه بخار، بدون استفاده از میکرونایزر، بلافاصله در دستگاه فلیکر پولکی شدند (SF). روش‌های فرآوری شامل: ۱) دانه جو خام (B_0) بخارپز- پولکی شده (SF) (SFB_0)، ۲) دانه جو (B) عمل‌آوری شده با چوبک (Ap) و اسید مالیک (Ma) همراه با روش (SF) (SFB_{ApMa})، ۳) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و اسید لاکتیک (La) همراه با روش (SF) (SFB_{ApLa})، ۴) (B) عمل‌آوری شده با رازیانه (Pv) و (Ma) همراه با روش (SF) (SFB_{PvMa})، ۵) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (La) همراه با روش (SF) (SFB_{PvLa})، ۶) (B_0) بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی شده (SIF) ($SIFB_0$)، ۷) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و (Ma) همراه با روش (SIF) ($SIFB_{ApMa}$)، ۸) (B) عمل‌آوری شده با (Ap) و (La) همراه با روش (SIF) ($SIFB_{ApLa}$)، ۹) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (Ma) همراه با روش (SIF) ($SIFB_{PvMa}$)، ۱۰) (B) عمل‌آوری شده با (Pv) و (La) همراه با روش (SIF) ($SIFB_{PvLa}$)

تعیین ویژگی‌های فیزیکی:

اندازه‌گیری جرم توده‌ای[4]: جرم توده‌ای معادل با وزن نمونه در حجم اشغال شده است. یک استوانه مدرج ۱۰۰ میلی‌لیتری با قطر داخلی ۲/۵ سانتیمتر، تا ۵۰ میلی‌لیتر با نمونه پر و برای ۱۵ ثانیه تکان داده می‌شود. وزن نمونه‌ها و حجم اشغال شده ثبت می‌گردد. مقدار نمونه تا پر شدن استوانه و رسیدن به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر اضافه شد. استوانه به‌مدت ۱۰ ثانیه تکان داده می‌شود. کل وزن و حجم ثبت می‌گردد. مجدداً استوانه خالی و یک بار تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه پرشده برای پنج ثانیه تکان داده می‌شود و کل وزن و حجم

1- Asem
2- *Foeniculum vulgare* (Pv)
3- *Acanthophyllum* (Ap)
4- Bulk density

نهایی ثبت می‌گردد. این روش سریع و ساده و قابل تکرار است (Giger-Reverdin, 2000).

اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب[1]: ظرفیت نگهداری آب براساس روش رابرتسون و ایستوود (Robertson and Eastwood, 1981) انجام شد. بدین منظور، ۲/۵ گرم نمونه به‌مدت ۲۴ ساعت در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر خیسانیده شد، سپس نمونه‌ها با کروزه مشبک با قطر دو صاف شدند و بعد از ۱۰ دقیقه وزن‌کشی شدند.

اندازه‌گیری حجم و جرم حجمی[2]: اندازه‌گیری با استفاده از پیکنومتر و تولوئن انجام شد. مقدار کافی از نمونه را درون پیکنومتر قرار داده و وزن‌کشی شد (به‌اندازه یک سوم حجم پیکنومتر). بقیه حجم پیکنومتر با مقدار کافی تولوئن پر شد. هوای محبوس شده درون خلل و فرج دانه‌ها داخل پیکنومتر توسط پمپ خلأ خارج شد و پر کردن بخش خالی پیکنومتر با تولوئن انجام شد (Aghajani *et al.*, 2012).

$$V = \frac{Mtd}{\rho td} = \frac{(Mt-Mp)-(Mpts-Mps)}{\rho t} \quad \text{و} \quad \rho = \frac{Mps-Mp}{Vp}$$

معادله (۱)

که در آن، Mps: وزن نمونه و پیکنومتر،Mpts: وزن پیکنومتر نمونه و تولوئن،Mp: وزن پیکنومتر خشک خالی،Mt: وزن پیکنومتر پر شده با تولوئن و ρt: دانسیته می‌باشد.

تعیین ترکیب شیمیایی:

برای اندازه‌گیری پروتئین خام مقدار یک گرم از هر نمونه دانه جو در لوله هضم ریخته شد و سپس چهار گرم کاتالیزوز و ۱۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد به آن افزوده و سه ساعت در دستگاه هضم کلدال قرار داده شد. پس از افزودن ۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر به هر لوله و قرار دادن در دستگاه اتوماتیک کلدال، میزان نیتروژن آن‌ها ثبت شد. میزان پروتئین خام هر نمونه از ضرب ۶/۲۵ در درصد نیتروژن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری خاکستر خام، سه گرم نمونه دانه جو به‌میزان شش ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس استفاده شد. اختلاف وزن قبل و بعد از قرار دادن درکوره برای محاسبه استفاده شد (AOAC., 2012). چربی خام (عصاره اتری) به‌روش استخراج از طریق هگزان و با استفاده از توسط دستگاه سوکسله اندازه‌گیری شد. الیاف نا محلول در شوینده خنثی (دیواره سلولی NDF,) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (دیواره سلولی بدون همی سلولز ADF,) براساس روش ون سوست و همکاران (Van Soest *et al.*, 1991) استفاده شد. به‌ازای هر ۰/۵ گرم از هر نمونه با ۶۰ میلی‌لیتر محلول استفاده شد. مدت زمان اتوکلاو یک ساعت بود. برای اندازه‌گیری نشاسته، نمونه‌های دانه جو براساس روش رز و همکاران (Rose *et al.*, 1991) و با استفاده از پرکلریک اسید و معرف آنترن استفاده شد. بدین صورت که، ابتدا جهت استخراج قندهای محلول در نمونه پس از افزودن اتانول ۸۰ درصد به آن‌ها به‌مدت دو ساعت جوشانده و سپس سانتریفیوژ شدند. مواد باقی‌مانده با پرکلریک اسید ۳۵ درصد شسته شده و سپس محلول آنترون- سولفوریک اسید به آن‌ها اضافه تا محلول سبز زنگ بوجود آید و جذب در طول موج ۶۲۵ نانومتر غلظت نشاسته اندازه‌گیری شد. مقدار آمیلوز و آمیلوپکتین نمونه‌های دانه جو براساس روش هو و همکاران (۲۰۱۰) تعیین شد. بدین منظور، دو میلی‌لیتر آب مقطر به ۱۰۰ میلی گرم دانه جو آسیاب شده اضافه شد و نشاسته جو با دو میلی‌لیتر سود دو مولار استخراج شد. بعد از ۳۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، نشاسته با چهار میلی‌لیتر اسیدکلریدریک یک مولار خنثی و با آب مقطر با نسبت ۱ به ۳۰ رقیق شد. سپس دو میلی‌لیتر محلول ید- پتاسیم یدید به ۰/۵ میلی‌لیتر نشاسته افزوده و بعد از ۱۰ دقیقه میزان جذب نمونه در طول موج‌های ۵۳۵ و ۶۲۰ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتری قرائت شد. با استفاده از معادله ۱، مقدار آمیلوز محاسبه شد. محتوی آمیلوپکتین نمونه‌ها از تفاضل میزان آمیلوز از کل نشاسته به‌دست آمد (Rose *et al.*, 1991; Hu and Yang, 2010).

معادله (۲)   ۱/۴۹۳۵ × **exp** (نسبت جذب ۶۲۰ به ۵۳۵×۲/۷۰۲۹)

بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات:

در این پژوهش، بخش‌بندی پروتئین و کربوهیدرات نمونه‌های آزمایشی براساس رویه سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل[3] ویرایش ۶/۵ انجام شد (Van Amburgh *et al.*, 2015). مواد آزمایشی و حلال‌های مورد استفاده جهت تعیین بخش‌های محلول و غیر محلول پروتئین و کربوهیدرات‌ها براساس دستورالعمل‌های ارائه شده توسط هیگز و همکاران (۲۰۱۵) تهیه شد. در این روش، پروتئین خام به پنج بخش تقسیم شد که عبارتند از: آمونیاک معادل پروتئین (A_1)، پروتئین حقیقی محلول (A_2)، پروتئین حقیقی نامحلول (B_1)، پروتئین متصل به الیاف (B_2) و پروتئین غیر قابل هضم (C).

Ammonia × (SP/100) × (CP/100)   معادله (۲)

(معادل پروتئینی آمونیاک آزاد)

(پروتئین حقیقی محلول) $A_2\% = SP \times CP/100 - PA1$

معادله (۳)

(پروتئین حقیقی نامحلول) $B_1\% = CP - (PA1 - PA2 - PB2 - PC)$

معادله (۴)

1- Water holding capacity

2- Density

3- Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)

(پروتئین متصل شده به الیاف) $B_2\% = (NDIP - ADIP) \times CP / 100$ معادله (۵)

(پروتئین حقیقی نامحلول) $C\% = ADIP \times CP / 100$ معادله (۶)

که در این معادله‌ها، SP: پروتئین محلول، NDIP: پروتئین نامحلول در شوینده خنثی وADIP: پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی می‌باشند.

کربوهیدرات‌های موجود در نمونه‌های آزمایشی نیز به بخش‌های شامل: کربوهیدرات‌های کل (CHO)، کربوهیدرات‌های غیر الیافی (NFC)، اسیدهای چرب فرار (استات، پروپیونات، بوتیرات و ایزوبوتیرات) (A_1)، اسید لاکتیک (A_2)، سایر اسیدهای آلی (A_3)، کربوهیدرات‌های محلول در آب (A_4)، نشاسته (B_1)، الیاف محلول (B_2)، الیاف قابل هضم (B_3) و الیاف غیر قابل هضم (CC)، بخش‌بندی شدند.

$CHO\ (g/kg) = 1000-(CP+EE+ASH)$ معادله (۷) (معادل مجموع کربوهیدرات‌ها)

$NFC\ (g/kg) = CHO - aNDFom$ (معادل کربوهیدرات‌های غیرالیافی). قندهای محلول =A4 نشاسته =B1 معادله (۸)

معادله (۹) $B2 = NFC-A4-B1$ (الیاف محلول). $aNDFom - CC$ =B3 (الیاف قابل هضم)

معادله (۱۰) $aNDFom \times uNDFom - aNDFom =$ CC(الیاف غیر قابل هضم)

aNDFom= NDF تصحیح شده فاقد خاکستر. uNDFom= NDF غیر قابل هضم بعد از ۲۴۰ ساعت کشت و فاقد خاکستر

تجزیه آماری:

در این آزمایش، داده‌های به‌دست آمده در قالب طرح کاملاً تصادفی با رویه GLM و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS ویرایش ۹/۴ مورد تجزیه آماری قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. تفاوت بین میانگین‌ها در سطح احتمال کمتر از پنج درصد به‌عنوان معنی‌داری گزارش شد. جهت تعیین اثرات مربوط به روش‌های عمل‌آوری شیمیایی و فرآوری‌های فیزیکی مقایسه‌های مستقل اورتوگونال صورت پذیرفت. مدل ریاضی طرح آماری استفاده شده عبارت بودند از: $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود. که Y_{ij}: متغیر وابسته، μ: اثر ثابت میانگین، T_i: اثر تیمار و e_{ij}: خطای آزمایش است.

نتایج و بحث

در جدول ۱، نتایج مربوط به تأثیر روش‌های فرآوری بر ویژگی‌های فیزیکی دانه جو نشان داده شده است. جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب، حجم و جرم حجمی دانه جو خام اولیه به‌ترتیب ۶۶۷ (گرم در لیتر)، ۰/۷ (مترمکعب در تن)، ۰/۹ (مترمکعب در تن) و ۱۱۰۵/۶ (کیلوگرم در مترمکعب) بود. تمام روش‌های فرآوری بر ویژگی‌های فیزیکی تأثیر معنی‌دار داشتند (P<۰/۰۵). نتایج نشان داد، تیمارهای $SIFB_0$ و SFB_{ApLa} به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار جرم توده‌ای را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند (به‌ترتیب ۴۱۲/۳ و ۳۴۰/۷ گرم در لیتر). به‌طور کلی، دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF به‌طور معنی‌داری جرم توده‌ای بیشتری نسبت به جوهای فرآوری شده به‌روش SF داشتند (۳۷۷/۳۷ در مقابل ۳۶۵/۱۱ گرم در لیتر)، (P<۰/۰۵). مقایسه‌های مستقل نشان داد که جوهای عمل‌آوری شده با Ma نسبت La جرم توده‌ای بیشتری داشتند (۵/۶ درصد). تیمار FB_0 با ۱/۹۶ متر مکعب در تن بیشترین و تیمار SFB_{PvMa} با ۱/۳۸ متر مکعب در تن کمترین ظرفیت نگهداری آب را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند. برخلاف جرم توده‌ای، ظرفیت نگهداری آب در جوهای فرآوری شده به‌روش SIF به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵)کمتر از جوهای فرآوری شده به‌روش SF (۱/۵۳ در مقابل ۱/۶۵ مترمکعب در تن) بود. ظرفیت نگهداری آب در دانه‌های جو عمل‌آوری شده با Ap به‌طور معنی‌دار بیشتر از Pv بود (افزایش ۹/۵۶ درصدی). بیشترین حجم در بین تیمارهای آزمایشی مربوط به تیمار SFB_0 با ۱/۲۹ متر مکعب در تن بود. حجم در دانه‌های فرآوری شده به‌روش SF، بیشتر از دانه‌های تهیه شده به‌روش SIF بود (P<۰/۰۵). حجم در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ap به‌طور معنی‌داری (P<۰/۰۵) بیشتر از دانه‌های عمل‌آوری شده با Pv بود (۱/۲۱ در مقابل ۱/۱۹ مترمکعب در تن). همچنین عمل‌آوری شیمیایی با La حجم دانه‌ها را نسبت به Ma به‌صورت معنی‌داری افزایش داد (۶/۹ درصد)، (P<۰/۰۵). با توجه به رابطه معکوسی که بین حجم و جرم حجمی وجود دارد، تیمار SFB_0 کمترین جرم حجمی را در بین تیمارهای آزمایشی داشت (۷۷۴/۲ کیلوگرم در متر مکعب). تیمارهای فرآوری شده به‌روش SF جرم حجمی کمتری از تیمارهای فرآوری شده به‌روش SIF داشتند (P<۰/۰۵). استفاده از Ma موجب افزایش معنی‌دار (P<۰/۰۵) این ویژگی فیزیکی در دانه‌های جو عمل‌آوری شده گردید (۵/۹ درصد). تعیین ویژگی‌های فیزیکی برای تبیین تأثیر روش‌های فرآوری دانه غلات یک ضرورت است (Schwandt *et al*., 2017). جرم توده‌ای در واقع وزن خالص دانه در یک لیتر حجم است که می‌توانند نقش مهمی در هضم و همچنین ذخیره‌سازی دانه‌های فرآوری شده داشته باشد. جرم توده‌ای برای دانه‌های جو پولکی در دامنه ۲۴۰ تا ۴۸۰ گرم در لیتر گزارش شده است (Tosta *et al*., 2019و Sindt *et al*., 2006;). جرم توده‌ای در روش پولکی کردن به‌میزان۴۷ تا ۷۲ درصد نسبت به دانه خام جوکاهش پیدا می‌کند، که نتایج ما نیز آن را تأیید می‌کند (Domby *et al*., 2014; Koenig *et al*., 2013). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که مصرف دانه‌های پولکی که جرم

تودهای در آن‌ها از ۲۸۳ به ۳۳۵ و ۳۸۶ گرم در لیتر سبب افزایش یافت، منجر به کاهش هضم نشاسته و ماده آلی در کل دستگاه گوارش گوساله‌های نر شد (Ponce *et al*., 2013). همچنین افزایش جرم توده‌ای در غلات پولکی شده، باعث کاهش بخش محلول دانه‌ها می‌شود. پتانسیل هضم دانه نیز با افزایش جرم توده‌ای در دامنه ۲۵/۹ تا ۴۴/۲ درصد کاهش می‌یابد (Trotta *et al*., 2021). صفایی و همکاران (Safaei *et al*., 2017) جرم توده‌ای دانه جو پولکی را با توجه به فاصله بین غلتک‌ها (۰/۳، ۰/۳۵ و ۰/۴ میلی‌متر) در دامنه ۳۹۰، ۳۴۰ و ۲۹۰ گرم در لیتر گزارش کردند، که با دامنه نتایج آزمایش به‌دست آمده در آزمایش حاضر هم‌راستا است. هر چند که چرنکوا و همکاران (Chrenkova *et al*., 2018) در آزمایشی که از دانه‌های جو پولکی شده استفاده کردند، جرم توده‌ای دانه را در دامنه ۴۴۰ تا ۴۶۰ گرم در لیتر گزارش کردند که نتایج به‌دست آمده در آزمایش حاضر داده‌های گزارش شده را تأیید نمی‌نماید. درجه حرارت محفظه بخار، زمان بخاردهی، مواج بودن غلتک‌ها[1]، فاصله بین غلتک‌ها[2] و فشار غلتک‌ها[3] از جمله عواملی هستند که می‌توانند بر کیفیت دانه پولکی شده تأثیر بگذارد (Zinn *et al*., 2022) و شاید یکی از دلایل تفاوت در جرم توده‌ای دانه‌های پولکی در این مطالعه با سایر مطالعات صورت پذیرفته تفاوت در همین عوامل باشد. ظرفیت نگهداری آب یک ماده غذایی در واقع مقدار آبی است که یک ماده غذایی در محیط آبی (آب زیاد نسبت به مقدار آن ماده غذایی) می‌تواند در خود نگه دارد و معیاری از توانایی تثبیت آب در داخل ماتریکس آن است. نتایج این آزمایش نشان داد که ظرفیت نگهداری آب رابطه معکوسی با جرم توده‌ای دانه‌های جو پولکی شده دارد (جدول ۱). دلیل این امر این است که دانه‌های دارای جرم توده‌ای کم حفرات گازی متعددی در ماتریکس دیواره سلولی دارند و این حفرات می‌توانند آب را در خود نگه دارند. همچنین این مواد خوراکی ممکن است که اثر پرکنندگی (Fill effect) داشته باشند و نرخ عبورشان از شکمبه کاهش یابد. در نتیجه، می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش ظرفیت نگهداری آب باعث افزایش دسترسی به مواد مغذی می‌شود (Singh and Narang, 1991). یکی از شاخص‌هایی که بعد از عمل‌آوری تشعشعی مادون قرمز باید به آن توجه شود، میزان جذب آب توسط دانه فرآوری شده است. در مطالعاتی که بر روی فرآوری تشعشعی مادون قرمز دانه جو انجام شد، نشان داده شد که میزان جذب آب در دانه‌های تشعشعی مادون قرمز دو تا سه برابر افزایش می‌یابد. رطوبت دانه قبل و بعد از فرآوری تشعشعی مادون قرمز بسیار حائز اهمیت است (Fasina *et al*., 1999). ظرفیت نگهداری آب حجم آب جذب شده توسط نشاسته پس از تورم در آب زیاد را تعیین می‌نماید و نشان‌دهنده یکپارچگی نشاسته در محیط آبی است (Rani *et al*., 2020). جرم حجمی با رطوبت اولیه دانه رابطه مستقیمی دارد.

1- roll corrugation
2- roll gap
3- roll tension

از آنجایی که در فرآوری تشعشعی مادون قرمز به‌دلیل حرارت بالا، رطوبت دانه‌ها کاهش می‌یابد، این منجر به کاهش جرم حجمی دانه‌های فرآوری شده می‌شود، که نتایج آزمایش حاضر آن را تأیید می‌کند (Aghajani *et al*., 2012). نتایج قبلی نشان داده است که بین جرم حجمی با ADF یک همبستگی منفی و با نشاسته همبستگی مثبت وجود دارد، و این خصوصیت می‌تواند بر راندمان خوراک اثر بگذارد (Reynolds *et al*., 1992). احتمالاً تأثیر بر راندمان خوراک ناشی از افزایش ارزش غذایی دانه جو است، زیرا که افزایش جرم حجمی نشان‌دهنده افزایش نشاسته در آندوسپرم دانه و کاهش نسبت الیاف در پوسته است.

داده‌های مندرج در جدول ۲ نشان می‌دهد که افزودن اسیدهای آلی و عصاره‌های گیاهی همراه با فرآوری فیزیکی (روش SF یا SIF) بر غلظت چربی خام، خاکستر، پروتئین خام،NDF و ADF دانه‌های جو فرآوری شده تأثیر معنی‌دار دارد ($P<0.05$). غلظت چربی خام در دانه‌های جو فرآوری شده با روش SF (۲۳/۴۲ گرم در کیلوگرم) به‌طور معنی‌داری بیشتر از دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF (۲۲/۷۷ گرم در کیلوگرم) بود ($P<0.05$). مقایسه مستقل عمل‌آوری دانه‌های جو با Ap در مقابل Pv نشان داد که عمل‌آوری با عصاره Ap منجر به کاهش غلظت چربی خام (۳/۸۴ درصد) به‌طور معنی‌داری شد ($P<0.05$). همانند چربی خام، غلظت خاکستر در دانه‌های جو فرآوری شده با روش SF به‌طور معنی‌داری بیشتر (۲۶/۸۸ در مقابل ۲۵/۶ گرم در کیلوگرم) از دانه‌های جو فرآوری شده با روش SIF بود ($P<0.05$). نتایج مقایسه‌های مستقل نشان داد، غلظت خاکستر در دانه‌های جو عمل‌آوری شده با Pv و Ma به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری بیشتر (به‌ترتیب ۹/۹۵ و ۱۸/۴۹درصد) از Ap و La بود ($P<0.05$). بیشترین غلظت پروتئین خام در بین تیمارهای آزمایشی با ۱۱۶/۶۱ گرم در کیلوگرم مربوط به تیمار $SIFB_{ApMa}$ بود. همچنین تیمار SFB_{PvLa} کمترین غلظت پروتئین خام را در بین تیمارهای آزمایشی داشت (۱۰۹/۹۸ گرم در کیلوگرم). غلظت پروتئین خام در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ap (۱۱۵/۲ گرم در کیلوگرم) بیشتر از دانه‌های عمل‌آوری شده با Pv (۱۱۲/۸ گرم در کیلوگرم) بود ($P<0.05$). مقایسه مستقل Ma در مقابل La نشان داد که غلظت پروتئین خام در دانه‌های عمل‌آوری شده با Ma به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (۱۱۵/۶۵ در مقابل ۱۱۲/۳۵ گرم در کیلوگرم)، ($P<0.05$). بیشترین و کمترین غلظت NDF با مقادیر ۲۲۴/۷۳ و ۱۸۴/۳۴ گرم در کیلوگرم به‌ترتیب در تیمارهای SFB_{ApMa} و $SIFB_{ApLa}$ مشاهده شد.

جدول ۱ - ویژگی‌های فیزیکی دانه جو عمل‌آوری شده با عصاره‌های گیاهی چوبک، رازیانه، اسید مالیک و اسید لاکتیک عمراه با فرآوری بخارپز پولکی و بخارپز- تشعشی مادون قرمز- - پولکی

Table1 - Physical characteristics of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

خصوصیات فیزیکی Physical properties	تیمارهای آزمایشی [1] Exprimental diets [1]										میانگین خطای استاندارد SEM	P-value سطح معنی‌داری			
													مقایسه‌های مستقل Contrasts		
	SFB_0 (1)	SFB_{ApMa} (2)	SFB_{ApLa} (3)	SFB_{PvMa} (4)	SFB_{PvLa} (5)	$SIFB_0$ (6)	$SIFB_{ApMa}$ (7)	$SIFB_{ApLa}$ (8)	$SIFB_{PvMa}$ (9)	$SIFB_{PvLa}$ (10)		تیمار Treatment	الف A	ب B	ج C
جرم توده‌ای (گرم به‌ازای لیتر) Bulk density (g/L)	356.7^{ef}	380^{c}	340.7^{g}	371.2^{cde}	377^{cd}	412.3^{a}	397.3^{b}	360.1^{ef}	363.6^{def}	353.6^{fg}	2.90	<0001	<0001	0.1368	<0001
ظرفیت نگهداری آب (متر مکعب در تن) Water holding capacity (m^3/ton)	1.96^{a}	1.71^{b}	1.69^{b}	1.38^{e}	1.50^{cd}	1.75^{b}	1.53^{c}	1.44^{de}	1.45^{de}	1.47^{cd}	0.014	<0001	<0001	<0001	0.4233
حجم (متر مکعب در تن) Volume (m^3/ton)	1.29^{a}	1.18^{d}	1.27^{ab}	1.18^{d}	1.22^{c}	1.11^{f}	1.16^{de}	1.25^{bc}	1.14^{ef}	1.23^{c}	0.006	<0001	<0001	<0001	<0001
جرم حجمی (کیلوگرم در مترمکعب) Density (kg/m^3)	774.2^{fg}	846.2^{c}	819.9^{e}	841.3^{cd}	817.3^{e}	898.7^{a}	861^{bc}	796.4^{fe}	875.4^{b}	812.4^{e}	11.25	<0001	0.0006	0.4809	<0001

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

[1] تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB_0)، ۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApMa})، ۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApLa})، ۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvMa})، ۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvLa})، ۶) دانه جو خام بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_0$)، ۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApMa}$)، ۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApLa}$)، ۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvMa}$)، ۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvLa}$)

مقایسه‌های مستقل: الف) بخارپز- پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

[1] Experimental treatments were:1) Steam-flaking of barley grain(SFB_0), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB_{ApMa}), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB_{ApLa}), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB_{PvMa}), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB_{PvLa}), 6) steam- infrared-flaking of barley grain($SIFB_0$), 7 steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid ($SIFB_{ApMa}$), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid ($SIFB_{ApLa}$), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid ($SIFB_{PvMa}$), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid ($SIFB_{PvLa}$)

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

جدول ۲- ترکیب شیمیایی انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی)

Table 2- Chemical composition of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

ترکیب شیمیایی(گرم به کیلوگرم) Chemical composition (g/kg)	تیمارهای آزمایشی [1] Exprimental diets [1]										میانگین خطای استاندارد SEM	P-value سطح معنی‌داری			
													مقایسه‌های مستقل Contrasts		
	SFB_0 (1)	SFB_{ApMa} (2)	SFB_{ApLa} (3)	SFB_{PvMa} (4)	SFB_{PvLa} (5)	$SIFB_0$ (6)	$SIFB_{ApMa}$ (7)	$SIFB_{ApLa}$ (8)	$SIFB_{PvMa}$ (9)	$SIFB_{PvLa}$ (10)		تیمار Treatment	الف A	ب B	ج C
چربی Eater extract	22.74^{ab}	22.82^{ab}	22.13^{b}	24.83^{a}	24.56^{a}	24.15^{ab}	23.09^{ab}	22.17^{b}	22.16^{b}	22.26^{b}	0.446	0.0007	0.0323	0.0096	0.1734
خاکستر Ash	29.53^{a}	25.43^{b}	24.78^{b}	31.79^{a}	23.53^{b}	24.45^{b}	25.33^{b}	23.76^{b}	31.13^{a}	23.34^{b}	0.463	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001
پروتئین خام Crude protein	114^{abc}	115.55^{ab}	113.45^{abc}	115.56^{ab}	109.98^{c}	113.61^{abc}	116.61^{a}	115.2^{ab}	114.85^{abc}	110.80^{bc}	0.974	0.0018	0.4233	0.0023	0.0001
نشاسته Starch	558.93	554	557.98	558.54	558.01	561	556.82	562.02	558.95	558.83	4.13	0.2453	0.1939	0.5058	0.1156
الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral Detergent Fiber (NDF)	204.42^{abc}	224.73^{a}	201.91^{abc}	211.10^{abc}	217.88^{ab}	203.74^{abc}	216.92^{abc}	184.34^{c}	209.76^{abc}	187.76^{bc}	6.62	0.0067	0.0125	0.941	0.0012
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid Detergent Fiber (ADF)	74.74^{abc}	79.63^{ab}	85.28^{a}	63.83^{c}	75.94^{abc}	69.82^{bc}	76.42^{abc}	72.72^{abc}	80.64^{ab}	71.70^{abc}	2.74	0.0015	0.3604	0.0104	0.5158
قندهای محلول Water soluble carbohydrates	36.03	34.32	35.91	37.09	39.24	36.79	36.10	38.56	36.06	33.90	3.19	0.1043	0.7564	0.6779	0.2411
آمیلوز (درصد) Amylose (%)	31.31^{ab}	31.41^{a}	30.37^{c}	30.63^{bc}	30.90^{b}	31.29^{ab}	31.38^{ab}	30.26^{c}	30.64^{bc}	30.26^{c}	0.252	0.009	0.3308	0.1883	0.0046
آمیلوپکتین (درصد) Amylopectin (%)	68.93^{cb}	68.59^{c}	69.63^{a}	69.37^{ab}	69.10^{b}	68.71^{bc}	68.62^{bc}	69.76^{a}	69.36^{ab}	69.74^{a}	0.252	0.009	0.3308	0.1883	0.0046

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB_0)، ۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApMa})، ۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApLa})، ۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvMa})، ۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvLa})، ۶) دانه جو خام بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_0$)، ۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApMa}$)، ۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApLa}$)، ۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvMa}$)، ۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvLa}$)

مقایسه‌های مستقل: الف) بخارپز- پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain(SFB_0), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB_{ApMa}), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB_{ApLa}), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB_{PvMa}), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB_{PvLa}), 6) steam- infrared-flaking of barley grain($SIFB_0$), 7 steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid ($SIFB_{ApMa}$), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid ($SIFB_{ApLa}$), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid ($SIFB_{PvMa}$), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid ($SIFB_{PvLa}$)

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

غلظت NDF در دانه‌های فرآوری شده به‌روش SF به‌طور معنی‌داری بیشتر از روش SIF بود (۲۱۲/۰۱ در مقابل ۲۰۰/۵۱ گرم در گیلوگرم)، (P<۰/۰۵). مقایسه مستقل عمل‌آوری دانه جو با Ma در مقابل La نشان داد که عمل‌آوری با Ma باعث افزایش معنی‌دار

۸/۹۲ درصد) غلظت NDF در دانه‌های جو عمل‌آوری شده، شد (P<۰/۰۵). استفاده از عصاره Ap، موجب افزایش غلظت ADF در دانه‌های عمل‌آوری شده با آن نسبت به دانه‌های عمل‌آوری با Pv شد (۷۸/۵۱ در مقابل ۷۳/۰۳ گرم در کیلوگرم) (P<۰/۰۵). بیشترین درصد آمیلوز با ۳۱/۴۱، در تیمار SFB_{ApMa} مشاهده شد. درصد آمیلوز و آمیلوپکتین تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت (P<۰/۰۵). بیشترین درصد آمیلوز با ۳۱/۴۱، در تیمار SFB_{ApMa} مشاهده شد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که درصد آمیلوز به هنگام استفاده از La در عمل‌آوری شیمیایی به‌میزان ۱/۸۴ درصد کاهش می‌یابد (P<۰/۰۵).

ارزش غذایی دانه جو تحت تأثیر عوامل متعددی مانند رقم، مکان پرورش، شرایط اقلیمی و عملیات زراعی قرار می‌گیرد (Abdi *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای ارزش غذایی شش رقم جو داخلی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر ماده خشک ۹۲/۶۲ درصد، پروتئین خام ۱۱/۰۹ درصد، چربی ۱/۹۲ درصد، خاکستر ۲/۶ درصد، NDF ۱۷/۳۶ درصد، ADF ۵/۱۶ درصد و انرژی خام ۳۹۵۰ کیلوکالری برای آنان گزارش شد (Janmohammadi *et al.*, 2009). داده‌های به‌دست آمده آزمایش حاضر با نتایج گزارش شده مغایر بوده و احتمالاً علت آن تفاوت در رقم دانه جو و انجام انواع فرآوری بر روی آن‌ها دانست. ترکیب شیمیایی و میزان انرژی قابل متابولیسم در انواع دانه جو به‌دلیل تغییرات جغرافیایی، محیطی و همچنین برهم‌کنش بینشان متنوع است (Dehghan-banadaky *et al.*, 2007). در مطالعه ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2015)، غلظت پروتئین خام، NDF و نشاسته در دانه جو با جرم توده‌ای بالا به‌ترتیب ۱۲۸، ۱۸۶ و ۵۳۷ گرم بر کیلوگرم و برای دانه جو با جرم توده‌ای پایین به‌ترتیب ۱۲۴، ۱۷۹ و ۵۴۶ گرم بر کیلوگرم گزارش شد، که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. ناصر الاسلامی و همکاران (Naseroleslami *et al.*, 2018) در آزمایشی دانه‌های جو را با عصاره‌های گیاهی و یا ترکیبات قلیایی عمل‌آوری کردند. دامنه پروتئین خام نمونه‌های عمل‌آوری شده ۱۱۹/۵ تا ۱۳۲/۲ گرم بر کیلوگرم را گزارش شد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که غلظت پروتئین خام نمونه‌های جو عمل‌آوری شده نسبت به دانه جو خام افزایش یافت. هر چند که دامنه اعداد گزارش شده با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت، امّا با توجه به اینکه غلظت پروتئین در نتیجه عمل‌آوری شیمیایی افزایش یافت، نتایج این آزمایش در راستای نتایج آن‌هاست. در این آزمایش عمل‌آوری شیمیایی دانه جو با عصاره‌های گیاهی و ترکیبات قلیایی، دامنه غلظت‌های نشاسته ۶۱۰/۷ تا ۶۲۴/۲ گرم بر کیلوگرم، NDF از ۲۲۱/۱ تا ۲۲۶/۵ گرم بر کیلوگرم، ADF از ۸۰ تا ۸۴/۵ گرم بر کیلوگرم، خاکستر از ۱۹ تا ۲۰/۵ گرم بر کیلوگرم و چربی از ۲۰/۱ تا ۲۱/۸ گرم بر کیلوگرم گزارش شده، که غلظت این مواد مغذی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفتند (Naseroleslami *et al.*, 2018). با توجه به اینکه در این آزمایش دانه جو با افزودنی‌های گیاهی و اسیدهای آلی به همراه روش‌های بخارپز- پولکی یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی فرآوری شده است و نیز رقم جو (جو وارداتی در مقابل جو بومی)، شرایط عمل‌آوری و ماهیت مواد شیمیایی (عدم استفاده از اسیدهای آلی و تفاوت در عصاره‌های گیاهی) متفاوت می‌باشد، لذا، نتایج آزمایش حاضر با داده‌های گزارش شده توسط ناصرالاسلامی و همکاران (Naseroleslami *et al.*, 2018) همخوانی نداشت. نکته حائز اهمیت در فرآوری به‌روش تشعشعی مادون قرمز، حفظ ارزش ذاتی پروتئین موجود در دانه‌ها پس از فرآوری است. بهبود ضریب بازدهی پروتئین، ترکیب و امتیاز (Score) اسیدهای آمینه در دانه‌های تشعشعی شده گزارش شده است (Khattab *et al.*, 2009). در اثر پرتوتابی آبگریزی سطح مولکول پروتئین به‌دلیل جداشدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای کووالانسی و نیز تغییر موقعیت اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه گروه‌های جانبی در اسیدهای آمینه آبگریز جایگاه فعال آنزیم‌های گوارشی تریپسین و کیمو تریپسین هستند، لذا این روش می‌تواند افزایش هضم دانه‌های فرآوری شده را به‌دنبال داشته باشد (Folawiyo and Apenten, 1997). هاردر و همکاران (Harder *et al.*, 2015) در آزمایشی دانه جو را با پنج درصد La (حجمی/حجمی) عمل‌آوری کردند، و سپس تحت حرارت قرار دادند. غلظت پروتئین خام در دانه‌های جو عمل‌آوری شده کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر همخوانی نداشت. این محققین علت این کاهش در غلظت پروتئین خام را شسته شدن بخش محلول پروتئین که عمدتاً از نیتروژن غیر پروتئینی یا پپتیدهای کوچک تشکیل شده است، بیان داشتند. همچنین گزارش نمودند که فرآوری دانه جو سهم مهمی در کاهش آمونیاک شکمبه‌ای و افزایش مقدار پروتئین تجزیه ناپذیر در شکمبه دارد. در آزمایشی دیگر، عمل‌آوری دانه جو با سطوح مختلف La (۰/۵، ۱ و ۵ درصد حجمی) همراه با حرارت (۵۵ درجه سلسیوس) منجر به کاهش نشاسته دانه‌های عمل‌آوری شده در مقایسه با دانه‌های خام جو شد، که نتایج آزمایش حاضر آن را تأیید نمی‌کند. امّا خاکستر نمونه‌های عمل‌آوری شده با La نسبت به دانه‌های خام جو کاهش یافت، که نتایج این آزمایش، آن را تأیید می‌نماید (Metzler-Zebeli *et al.*, 2014). سالم و همکاران (Salem *et al.*, 2012) گزارش کردند که پیوند ایجاد شده بین تانن‌های گیاهی و پروتئین باعث کاهش حلالیت پروتئین و افزایش مقاومت آن در برابر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای می‌شود. همچنین استفاده از تانن‌های متراکم در جیره سبب کاهش گوارش‌پذیری شکمبه‌ای کربوهیدرات‌های سریع‌التخمیر و همی سلولز در دانه‌های جو می‌شود (Patra and Saxena, 2011). تغییراتی که در ADF و NDF دانه‌های جو در طی فرآوری پولکی شدن اتفاق می‌افتد به‌دلیل جدا شدن هسته دانه (grain kernel) در اثر عبور از میان غلتک‌ها و فشار وارد شده به دانه و شکستن پوسته آن در طی این فرآیند است. مالکوم و کیزلینگ

(Malcolm and Kiesling, 1993) بیان داشتند که افزایش غلظت ADF در طی فرآیند پولکی کردن بەدلیل افزایش اتصالات لینگنینی است، که در دمای بالای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود. نتایج آزمایش حاضر این را تأیید نمی‌کند، زیرا که فرآوری‌های فیزیکی به‌تنهایی تأثیر معنی‌داری بر غلظت ADF تیمارهای آزمایشی نداشتند. نتایج پژوهش‌های قبلی بیان کردند که پرتوتابی باعث آغاز واکنش‌های شیمیایی و نیز تجزیه پیوندهای شیمیایی می‌شود. همچنین پرتوتابی منجر به دپلیمریزه شدن سلولز و تجزیه آن می‌گردد. علاوه‌براین پرتوتابی موجب تورم الیاف سلولزی و به‌دنبال آن افزایش خاصیت جذب آب و حل شدن در محلول‌های قلیایی و هیدرولیز اسیدی شده است (Driscoll *et al*., 2009). در آزمایشی، دامنه NDF و ADF دانەهای جو عمل‌آوری شده با La به‌ترتیب ۱۴۵ تا ۱۶۹ و ۵۳ تا ۶۳/۶ گرم به کیلوگرم بود که در دامنه نتایج آزمایش حاضر نمی‌باشد. عمل‌آوری با La و حرارت (۵۵ درجه سانتی‌گراد) سبب افزایش مقادیر NDF و ADF دانەهای عمل‌آوری شده می‌شود (Metzler-Zebeli *et al*., 2014). عمل‌آوری شیمیایی دانه جو با La به‌علت افزایش هیدرولیز فیتات و به دنبال آن در دسترس شدن فسفر و سایر کاتیون‌ها، غلظت خاکستر دانەهای عمل‌آوری شده را کاهش داد (Harder *et al*., 2015). عمل‌آوری دانه جو با La موجب افزایش هیدرولیز بخش‌های نامحلول به‌خصوص ترکیبات همی سلولزی و کاهش غلظت NDF می‌شود (Harder *et al*., 2015). با توجه به کاهش غلظت خاکستر و NDF در اثر عمل‌آوری با La در آزمایش حاضر، نتایج آزمایش حاضر دادەهای گزارش شده توسط هادر و همکاران (Harder *et al*., 2015) را تأیید می‌کند. گیاه چوبک منبع سرشاری از ترکیبات ساپونینی است. ساپونین‌ها به‌عنوان ترکیبات تغییردهنده کشش سطحی به‌واسطه ماهیت شویندگی آن‌ها هستند. بنابراین، استفاده از عصاره آن می‌تواند باعث افزایش جذب آب توسط دانەهای فرآوری شده با آن شود و بدین لحاظ گوارش‌پذیری دانه نیز افزایش خواهد یافت (Hristov *et al* ., 2007). نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که عمل‌آوری دانه ذرت با ساپونین و پولکی کردن آن با بخار منجر به افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و نشاسته به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۲ و ۶/۷ درصد نسبت به دانەهای خام پولکی می‌شود (Hristov *et al*., 2007). در آزمایش حاضر، تیمار (SIFBApLa) کمترین و بیشترین غلظت NDF و نشاسته را در بین سایر تیمارهای فرآوری داشت که شاید یکی از دلایل آن خاصیت شویندگی ساپونین موجود در عصاره Ap است که باعث افزایش شسته شدن الیاف می‌شود که این نتایج همسو با گزارش پن و همکاران (Pen *et al*., 2007) مبنی بر تأثیر ساپونین موجود در گیاه یوکا بر کاهش غلظت NDF است. آنتول مهم‌ترین ترکیب مؤثری است که در Pv یافت می‌شود. استفاده از عصاره Pv سبب افزایش اشتها و بالا رفتن مصرف خوراک در دام

می‌شود، و به تبع آن نرخ رشد دام‌ها را افزایش می‌دهد. آنتول موجود در Pv سبب بهبود اسپاسم‌های دستگاه گوارش و افزایش ترشح آنزیم‌های گوارشی و در نتیجه، افزایش و یا بهبود هضم می‌گردد (Yacoub *et al*., 2015). اسید لاکتیک یکی از اسیدهای آلی است که دارای عامل آلفا هیدروکسی اسید در رشته اصلی کربنی خود است که این عامل از طریق ایجاد قطب‌های هیدروژنی باعث اتصال آب و نشاسته و در نتیجه، افزایش خروج آمیلوز از دانەهای عمل‌آوری شده با این اسید می‌شود. در صورتی که اسید مالیک جزو اسیدهای آلی با دو عامل کربوکسیل است که موجب تقویت قدرت اسیدی آن می‌شود. چنین پتانسیلی در اسیدهای آلی موجب هیدرولیز زنجیره‌های آمیلوز و آمیلوپکتین و در نتیجه، کاهش نظم مولکولی نشاسته خواهد شد. با توجه به خاصیت اسید لاکتیک، احتمالاً همین ویژگی علت کاهش آمیلوز در دانەهای عمل‌آوری شده با آن است (Hirashima *et al*., 2005). نوع ژلاتینه شدن نشاسته و میزان آن مهم‌ترین عامل تفاوت بین واریته‌های جو قبل و بعد از فرآوری تشعشعی مادون قرمز است. بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی از گرانول‌های نشاسته دانه جو نشان داده است که گرانول‌ها قبل از میکرونیزه کروی بوده و بعد از میکرونیزه از حالت کروی خارج شده‌اند (Deepa and Umesh Hebba, 2016). پژوهش‌های صورت گرفته قبلی بیان کردند که اسیدهای آلی در اصلاح ساختار نشاسته و افزایش نشاسته مقاوم و کاهش تجزیه‌پذیری آن در شکمبه مؤثر است (Deckardt *et al*., 2014). واکنش‌های غیر کووالانسی که بین نشاسته و ترکیبات فنولی اتفاق می‌افتد، می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و نیز هضم نشاسته مؤثر باشد. واکنش‌های غیر کووالانسی شامل باندهای هیدروژنی[1]، واکنش‌های آبگریز[2]، واکنش‌های یونی و الکترواستاتیکی[3] است. در واقع، ساختار مولکولی آمیلوز این پیوندهای قوی را بین نشاسته و ترکیبات فنولی ایجاد می‌کند (Barros *et al*., 2012) و همچنین تغییر در ساختار نشاسته به‌دلیل افزایش نسبت آمیلوز در رشته‌های α گلوکان نشاسته باشد (Zhu, 2015). علاوه‌بر آن، گزارش شده است که ترکیبات پلی فنولی یک ممعانت‌کننده[4] متوسط آنزیم برای فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز[5] و ممعانت‌کننده قوی برای آنزیم آلفا گلوکوزیداز[6] هستند، در نتیجه می‌توانند بر هضم نشاسته تأثیر بگذارند (Paun *et al*., 2016). ترکیبات گیاهی میزان هضم نشاسته، پروتئین و دآمیناسیون اسیدهای آمینه را در شکمبه کاهش می‌دهند (Duval *et al*., 2007). مکانیسم حفاظت از نشاسته توسط ترکیبات

1- Hydrogen bonds
2- Hydrophobic interaction
3- Electrostatic and ionic interaction
4- Inhibitor
1- α-amylase
2- α-glucosidase

فنولیک تا حدودی شبیه به ترکیبات آلدئیدی است، زیرا که گرانول‌های نشاسته توسط پروتئین‌هایی پوشش‌دهی شده که می‌توانند با ترکیبات آلدئیدی پیوند کووالانت تشکیل دهند (Martinez *et al*., 2005).

داده‌های مربوط به بخش‌بندی پروتئین خام دانه‌های جو عمل‌آوری شده شیمیایی همراه با فرآوری فیزیکی (براساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵) در جدول ۳ گزارش شده است. غلظت بخش‌های پروتئین حقیقی محلول، پروتئین حقیقی نامحلول و پروتئین غیر قابل هضم تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفتند (P<۰/۰۵). تیمار SFB_{ApMa} بیشترین و تیمار $SIFB_{PvLa}$ کمترین غلظت پروتئین حقیقی محلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند (به‌ترتیب۵/۵۷ و ۳/۴۳ درصد از پروتئین خام). مقایسه‌های مستقل عمل‌آوری با Ap در مقابل Pv نشان داد که عمل‌آوری با Ap موجب افزایش (۵۰/۸ درصدی) غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول در مقایسه با عمل‌آوری دانه جو با Pv شد (P<۰/۰۵). علاوه‌بر آن، عمل‌آوری با Ma در مقایسه با La غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول به‌میزان ۲۸/۴ درصد افزایش داد (P<۰/۰۵). تیمار SFB_{PvLa} با ۸۸/۶۷ درصد از پروتئین خام، بیشترین غلظت پروتئین حقیقی نامحلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشت. بیشترین و کمترین غلظت پروتئین غیر قابل هضم در بین تیمارهای آزمایشی به‌ترتیب در تیمارهای SFB_0 و $SIFB_{ApMa}$ مشاهده شد (۷/۶۸ و ۴/۴۳ درصد از پروتئین خام). عمل‌آوری دانه جو با Ap غلظت بخش پروتئین غیر قابل را نسبت به عمل‌آوری با Pv کاهش داد (۴/۸۴ در مقابل ۵/۷۹)، (P<۰/۰۵). غلظت بخش‌های مختلف کربوهیدرات دانه‌های فرآوری شده جو شامل مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی، الیاف محلول، الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم تحت تأثیر روش‌های فرآوری قرار گرفت (P<۰/۰۵ ، جدول۴). تیمار $SIFB_{PvLa}$ با ۸۴۳/۵۹، ۶۶۲/۹۳ و ۷۰/۱۹ گرم در کیلوگرم به‌ترتیب بیشترین غلظت مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را در بین تیمارهای آزمایشی داشت. غلظت بخش‌های مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول در دانه‌های فرآوری شده با روش SIF بیشتر از دانه‌های فرآوری شده با روش SF بود (به‌ترتیب افزایش ۰/۱۷، ۲/۰۳ و ۳۰/۶۵ درصدی)، (P<۰/۰۵). تیمار SFB_{ApMa} بیشترین و تیمار $SIFB_{ApLa}$ کمترین غلظت الیاف قابل هضم (۱۹۷/۶۹ و ۱۶۷ گرم در کیلوگرم) و الیاف غیر قابل هضم (۲۰/۰۳ و ۱۲/۱۱ گرم در کیلوگرم) را در بین تیمارهای آزمایشی داشتند. بیشترین غلظت الیاف غیر قابل هضم فرآوری فیزیکی با روش SF غلظت بخش‌های الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم در دانه‌های جو نسبت به روش SIF افزایش معنی‌دار داشت (۵/۰۸ و ۱۳/۵۸ درصد). نتایج مقایسه مستقل عمل‌آوری شیمیایی با La در مقابل Ma نشان داد که عمل‌آوری با La، غلظت بخش‌های مجموع کربوهیدرات، کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را به‌ترتیب به‌میزان ۰/۹۷، ۵/۰۵ و ۷۲/۲۶ درصد افزایش داد (P<۰/۰۵). همچنین استفاده از Ma در عمل‌آوری شیمیایی موجب افزایش ۷/۲ و ۱۸/۳۲ درصدی غلظت بخش‌های الیاف قابل هضم و الیاف غیر قابل هضم شد (P<۰/۰۵).

یو (Yu, 2011) بیان نمود که فرآوری فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌تواند بر بخش‌بندی پروتئین خام براساس روش CNCPS تأثیر بگذارد. فرآوری خوراک به‌صورت پلت منجر به افزایش هضم شکمبه‌ای پروتئین می‌شود و این می‌تواند به‌علت دناتوره شدن پروتئین‌ها در حین فرآوری باشد (Huang *et al*., 2015). فرآوری رطوبتی- حرارتی باعث افزایش بخش کند تجزیه پروتئین و کاهش بخش سریع تجزیه آن می‌شود (Peng *et al*., 2014). احتمالاً یکی از دلایل کاهش بخش غیر قابل هضم پروتئین‌ها در حین عمل فرآوری، افزایش تجزیه‌پذیری دیواره سلولی و آزاد شدن پروتئین متصل به دیواره سلولی و به‌دنبال آن افزایش قابلیت هضم آن است. با توجه به نتایج آزمایش حاضر، استفاده از عصاره Ap باعث کاهش غلظت بخش غیر قابل هضم پروتئین دانه‌های جو عمل‌آوری شده گردید. علت این کاهش، احتمالاً به‌دلیل خاصیت شویندگی Ap و افزایش شسته شدن دیواره سلولی متصل به پروتئین است، که موجب کاهش بخش غیر قابل هضم پروتئین می‌شود. بخش غیر قابل هضم پروتئین به‌عنوان بخش پروتئین گوارش‌ناپذیر در شکمبه شناخته می‌شود و رابطه مستقیمی با آسیب حرارتی نیتروژن و نیتروژن غیر قابل هضم دارد. بنابراین، حرارت مناسب و کنترل شده حائز اهمیت است که در آزمایش حاضر فرآوری‌های رطوبتی- حرارتی- تشعشعی به‌تنهایی تأثیر بر آن نداشتند (Mjoun *et al*., 2010). فرآوری اکسترود کردن سبب افزایش غلظت پروتئین متصل شده به الیاف و غیر قابل هضم پروتئین در غلات فرآوری شده می‌شود (Castro *et al*., 2007). با توجه به اینکه در آزمایش حاضر هر دو نوع فرآوری شیمیایی و فیزیکی همزمان با هم انجام شده است، همچنین نوع فرآوری فیزیکی متفاوت با آن‌ها بوده است و خاصیت هیدرولیزی که در اسیدهای آلی وجود دارد و تأثیر بر آن‌ها بر الیاف دانه و خاصیت شویندگی عصاره چوبک بر دیواره سلولی متصل به پروتئین، بنابراین عدم هم‌خوانی در نتایج مشاهده می‌شود.

جدول ۳- بخش‌بندی پروتئین انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی) براساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵

Table3- Protein fractionation of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

بخش‌بندی پروتئین (درصدی از پروتئین خام) Protein fractions (% of CP)	تیمارهای آزمایشی [1] Exprimental diets [1]										میانگین خطای استاندارد SEM	سطح معنی‌داری P-value			
													مقایسه‌های مستقل Contrasts		
	SFB_0 (1)	SFB_{ApMa} (2)	SFB_{ApLa} (3)	SFB_{PvMa} (4)	SFB_{PvLa} (5)	$SIFB_0$ (6)	$SIFB_{ApMa}$ (7)	$SIFB_{ApLa}$ (8)	$SIFB_{PvMa}$ (9)	$SIFB_{PvLa}$ (10)		تیمار Treatment	الف A	ب B	ج C
آمونیاک (A1) Ammonia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-
پروتئین حقیقی محلول (A2) Soluble true protein	5.10^{a}	5.57^{a}	4.20^{b}	5.24^{a}	1.99^{c}	4.09^{b}	5.41^{a}	5.32^{a}	2.92^{bc}	3.43^{b}	0.85	0.0826	0.7315	0.0091	0.0949
پروتئین حقیقی نامحلول (B1) Insoluble true protein	83.46^{b}	86.63^{ab}	87.72^{a}	85.67^{ab}	88.76^{a}	86.14^{ab}	87.01^{ab}	87.16^{ab}	88.66^{a}	87.69^{a}	0.084	0.01	0.1104	0.3519	0.1736
پروتئین متصل شده به الیاف Fiber- (B2) bound protein	3.75	2.6	3.38	3.17	3.33	2.56	3.13	2.44	2.61	3.31	0.514	0.6633	0.1934	0.5574	0.5178
پروتئین غیر قابل هضم (C) Indigestible protein	7.68^{a}	5.19^{bc}	4.69^{c}	5.91^{abc}	5.90^{abc}	7.20^{ab}	4.43^{c}	5.07^{c}	5.80^{abc}	5.56^{bc}	0.423	0.0005	0.3361	0.0048	0.9297

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند (P<۰/۰۵)

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB_0)، ۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApMa})، ۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{ApLa})، ۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvMa})، ۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB_{PvLa})، ۶) دانه جو خام بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_0$)، ۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApMa}$)، ۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{ApLa}$)، ۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvMa}$)، ۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ($SIFB_{PvLa}$)

مقایسه‌های مستقل: الف) بخارپز- پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Means with different superscript letters in each row indicate significant different (P<0.05).

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain(SFB_0), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB_{ApMa}), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB_{ApLa}), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB_{PvMa}), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB_{PvLa}), 6) steam- infrared-flaking of barley grain($SIFB_0$), 7 steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid ($SIFB_{ApMa}$), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid ($SIFB_{ApLa}$), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid ($SIFB_{PvMa}$), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid ($SIFB_{PvLa}$)

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

جدول ۴- بخش‌بندی کربوهیدرات انواع مختلف دانه جو فرآوری شده (شیمیایی- حرارتی- امواجی) براساس سیستم CNCPS ویرایش ۶/۵

Table 4- Carbohydrate fractionation of chemically processed barley grain using extracts of *Acanthophyllum* (Ap) or *Foeniculum vulgare* (Pv) plus malic acid (Ma) or lactic acid (La) accompany through steam flaking or steam-infrared-flaking

بخش‌بندی کربوهیدرات (گرم در کیلوگرم) Carbohydrate fractions (g/kg)	تیمارهای آزمایشی [۱] Exprimental diets [1]										میانگین خطای استاندارد SEM	سطح معنی‌داری P-value			
													مقایسه‌های مستقل Contrasts		
	SFB$_0$ (1)	SFB$_{ApMa}$ (2)	SFB$_{ApLa}$ (3)	SFB$_{PvMa}$ (4)	SFB$_{PvLa}$ (5)	SIFB$_0$ (6)	SIFB$_{ApMa}$ (7)	SIFB$_{ApLa}$ (8)	SIFB$_{PvMa}$ (9)	SIFB$_{PvLa}$ (10)		تیمار Treatment	الف A	ب B	ج C
(B1) نشاسته Starch	558.93	554	557.98	558.54	558.01	561	556.82	562.02	558.95	558.83	4.13	0.2453	0.1939	0.5058	0.1156
(A4) قندهای محلول Water soluble carbohydrate	36.03	34.32	35.91	37.09	39.24	36.79	36.10	38.56	36.06	33.90	3.19	0.1043	0.7564	0.6779	0.2411
مجموع کربوهیدرات Carbohydrates	833.72^{def}	836.19^{cde}	839.63^{abc}	828.42^{f}	841.91^{ab}	837.78^{cde}	834.97^{cde}	838.86^{abcd}	831.85^{ef}	843.59^{a}	1.09	<0001	0.0508	0.2229	<0001
کربوهیدرات‌های غیر الیافی Non fiber carbohydrate	636.67^{ab}	618.46^{b}	644.11^{ab}	624.13^{b}	627.08^{b}	638.45^{ab}	624.85^{b}	661.50^{a}	627.02^{b}	662.93^{a}	6.64	0.0008	0.0062	0.6841	<0001
(B2) الیاف محلول Soluble fiber	41.71^{abc}	30.14^{bc}	50.22^{abc}	28.49^{c}	29.83^{bc}	40.65^{abc}	31.93^{bc}	60.91^{ab}	32.01^{bc}	70.19^{a}	6.41	0.0012	0.0131	0.493	<0001
الیاف قابل هضم (B3) Digestible fiber	181.16^{ab}	197.69^{a}	179.77^{ab}	186.74^{ab}	192.77^{ab}	180.88^{ab}	191.51^{ab}	167^{b}	185.91^{ab}	167.44^{b}	5.63	0.0138	0.0191	0.847	0.0026
الیاف غیر قابل هضم (CC) Indigestible fiber	16.67^{abc}	20.03^{a}	15.74^{abc}	17.69^{ab}	18.50^{ab}	16.43^{abc}	18.61^{ab}	12.11^{c}	17.26^{ab}	13.72^{bc}	0.99	0.0007	0.0034	0.8133	0.0001

میانگین‌های با حروف غیر مشابه در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند ($P<0.05$).

تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) دانه جو خام بخارپز- پولکی (SFB$_0$)، ۲) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB$_{ApMa}$)، ۳) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB$_{ApLa}$)، ۴) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- پولکی (SFB$_{PvMa}$)، ۵) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- پولکی (SFB$_{PvLa}$)، ۶) دانه جو خام بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB$_0$)، ۷) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB$_{ApMa}$)، ۸) دانه جو عمل‌آوری شده با چوبک و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB$_{ApLa}$)، ۹) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و مالیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB$_{PvMa}$)، ۱۰) دانه جو عمل‌آوری شده با رازیانه و لاکتیک اسید بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی (SIFB$_{PvLa}$)

مقایسه‌های مستقل: الف) بخارپز- پولکی در مقابل بخارپز- تشعشی مادون قرمز- پولکی ، ب) عصاره گیاهی چوبک در مقابل رازیانه، ج) اسید مالیک در مقابل اسید لاکتیک

Means with different superscript letters in each row indicate significant different ($P<0.05$).

Experimental treatments were: 1) Steam-flaking of barley grain(SFB$_0$), 2) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SFB$_{ApMa}$), 3) Steam-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SFB$_{ApLa}$), 4) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SFB$_{PvMa}$), 5) steam flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SFB$_{PvLa}$), 6) steam- infrared-flaking of barley grain(SIFB$_0$), 7 steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Malic acid (SIFB$_{ApMa}$), 8) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Acanthophyllum* and Lactic acid (SIFB$_{ApLa}$), 9) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Malic acid (SIFB$_{PvMa}$), 10) steam- infrared-flaking of barley grain treated with *Foeniculum vulgare* and Lactic acid (SIFB$_{PvLa}$)

Contrasts: A) Steam-flaking vs steam- infrared irradiation-flaking, B) *Acanthophyllum* vs *Foeniculum vulgare*, C) Malic acid vs Lactic acid

پرتوتابی از طریق تغییر در ساختمان پروتئین، اکسیداسیون اسیدهای آمینه، شکسته شدن پیوندهای کوالانسی و تشکیل رادیکال‌های آزاد، باعث تشکیل ژل یا شکل منظم پروتئین به‌صورت سه بعدی از راه ایجاد اتصالات عرضی و در نتیجه، کاهش در دسترس بودن گروه‌های شیمیایی برای عمل آنزیم‌های پروتئولیتیکی میکروبی و در نهایت، کاهش سرعت و میزان تجزیه‌پذیری پروتئین می‌شود (Folawiyo and Apenten, 1997). در آزمایش انجام شده توسط فنگ و همکاران (Feng *et al*., 2023)، تأثیر فرآوری خشک، مرطوب و پرتوتابی بر بخش‌بندی کربوهیدرات‌های واریته‌های مختلف جو اقلیم سرد، مورد بررسی قرار گرفت. فرآوری مرطوب (پخت در اتوکلاو) منجر به کاهش غلظت بخش الیاف قابل هضم کربوهیدرات‌های جو و نشاسته آن شد. فرآوری حرارتی تأثیری بر بخش‌های الیاف غیر قابل هضم، قندهای محلول و الیاف محلول کربوهیدرات نداشت که با نتایج آزمایش حاضر هم‌خوانی نداشت. زین و همکاران (Zinn *et al*., 2002) گزارش کردند که درجه حرارت بالا و رطوبت منجر به بهبود هضم نشاسته و مجموع کربوهیدرات‌ها می‌شود. نتایج پژوهش‌های قبلی نشان داد که فرآوری رطوبتی- حرارتی دانه جو تأثیری بر مجموع کربوهیدرات‌ها، نشاسته و سلولز نداشت، امّا ADF و لیگنین محلول در اسید (ADL[1]) را افزایش داد، که نتایج آزمایش حاضر با آن‌ها هم راستا نمی‌باشد (Feng *et al*., 2020). فرآوری دانه جو به‌شکل پولکی با بخار در مقایسه با روش غلطک زدن خشک منجر به کاهش گوارش‌پذیری جو در شکمبه گاوهای گوشتی شده و جایگاه هضم را از شکمبه به روده انتقال می‌دهد (Richards and Hicks, 2007). اکسیداسیون کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی و واکنش میلارد بین گروه کربونیلی و آمینی در طی فرآوری حرارتی، بر هضم‌پذیری کربوهیدرات‌ها در روده تأثیر می‌گذارد. فرآوری تشعشعی مادون قرمز منجر به آن می‌شود که سطح کمتری از سوبسترا در معرض آنزیم‌های میکروبی قرار بگیرد (McKinnon *et al*., 1995). فرآوری حرارتی مرطوب بقولات، منجر به کاهش بخش قندهای محلول و افزایش بخش الیاف قابل هضم در آن‌ها شد که نتایج آزمایش حاضر، نتایج آن‌ها را تأیید می‌کند (Sun *et al*., 2018).

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، از اسانس چوبک (غنی از ساپونین) و رازیانه (غنی از ترکیبات فنولی) همراه با اسید لاکتیک یا اسید مالیک استفاده شد. متعاقب عمل‌آوری شیمیایی، فرآوری فیزیکی با روش بخارپز- پولکی و یا بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی انجام شد. استفاده از روش بخارپز- پولکی در تمام دانه‌های عمل‌آوری شده منجر به کاهش جرم توده‌ای گردید. همچنین استفاده از روش بخارپز- پولکی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب برای بهبود ظرفیت نگهداری آب در دانه جو باشد. در این آزمایش به‌طور کلی، غلظت مواد مغذی تحت تأثیر روش‌های عمل‌آوری شیمیایی همراه با فرآوری فیزیکی قرار گرفت. مهم‌ترین تغییر در غلظت مواد مغذی در پروتئین خام و NDF مشاهده شد. از سویی دیگر، نتایج بخش‌بندی پروتئین نشان داد که فرآوری دانه جو با چوبک و فرآوری بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی موجب افزایش غلظت بخش پروتئین حقیقی محلول در دانه جو می‌شود. امّا عمل‌آوری دانه‌ها با اسید لاکتیک همراه با فرآوری بخارپز- تشعشعی مادون قرمز- پولکی غلظت کربوهیدرات‌های غیر الیافی و الیاف محلول را افزایش داد. به نظر می‌رسد که تأثیر روش‌های عمل‌آوری دانه جو انجام شده در این آزمایش نیاز به بررسی تغییرات ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات‌ها را نیز داشته باشد.

References

1. Abdi, G. E., Danesh Mesgaran, M., & Nassiri Moghadam, H. (2012). Effect of climate on the *In vitro* first order ruminal disappearance kinetics of dry matter in grain of semi-arid native barley cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, *7*, 1468–1474. DOI:10.5897/AJAR11.391
2. Aghajani, N., Ansaripour, E., & Kashaninejad, M. (2012). Effect of moisture content on physical properties of barley seeds. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *14*(1), 161-172. http://jast.modares.ac.ir/article-23-10966-en.html
3. Ahmad Khan, N., Booker, H., & Yu, P. (2015). Effect of heating method on alteration of protein molecular structure in flaxseed: Relationship with changes in protein subfraction profile and digestion in dairy cows. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *63*(4), 1057-1066. https://doi.org/10.1021/jf503575y
4. AOAC, 2012. Official Methods of Analysis, 19th Ed. Association of official analytical chemists, Washington, DC, 121-130. 9780935584837, 0935584838
5. Barros, F., Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2012). Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on *in vitro* starch digestibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(46), 11609-11617. https://doi.org/10.1021/jf3034539
6. Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A. V., Fraser, G. R., Colombatto, D., McAllister, T. A., & Beauchemin, K.

A. (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, *145*(1-4), 209-228. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014

7. Brun-Lafleur, L., Delaby, L., Husson, F., & Faverdin, P. (2010). Predicting energy× protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *93*(9), 4128-4143. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2669
8. Castro, S. B., Phillip, L. E., Lapierre, H., Jardon, P. W., & Berthiaume, R. (2007). Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in treated soybean meal products. *Journal of Dairy Science*, *90*(2), 810-822. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71565-5
9. Chrenkova, M., Formelova, Z., Ceresnakova, Z., Dragomir, C., Rajsky, M., Cismileanu, A., & Weisbjerg, M. R. (2018). Rumen undegradable protein (RUP) and its intestinal digestibility after steam flaking of cereal grains. *Czech Journal of Animal Science*, *63*(4), 160-166. doi: 10.17221/74/2017-CJAS
10. Corbett, R. (2000). Processing barley grain and high moisture barley–how much is enough. *Advances in Dairy Technology*, *12*, 279-291.
11. Deckardt, K., Khiaosa-ard, R., Grausgruber, H., & Zebeli, Q. (2014). Evaluation of various chemical and thermal feed processing methods for their potential to enhance resistant starch content in barley grain. *Starch‐Stärke*, *66*(5-6), 558-565. https://doi.org/10.1002/star.201300200
12. Deepa, C., & Hebbar, H. U. (2016). Effect of high-temperature short-time 'micronization'of grains on product quality and cooking characteristics. *Food Engineering Reviews*, *8*, 201-213 https://link.springer.com/article/10.1007/s12393-015-9132-0
13. Dehghan-Banadaky, M., Corbett, R., & Oba, M. (2007). Effects of barley grain processing on productivity of cattle. *Animal Feed Science and Technology*, *137*(1-2), 1-24. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.021
14. Domby, E. M., Anele, U. Y., Gautam, K. K., Hergenreder, J. E., Pepper-Yowell, A. R., & Galyean, M. L. (2014). Interactive effects of bulk density of steam-flaked corn and concentration of Sweet Bran on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and apparent total tract nutrient digestibility. *Journal of animal science*, *92*(3), 1133-1143. https://doi.org/10.2527/jas.2013-7038
15. Driscoll, M., Stipanovic, A., Winter, W., Cheng, K., Manning, M., Spiese, J., Galloway, R. A & Cleland, M. R. (2009). Electron beam irradiation of cellulose. *Radiation Physics and Chemistry*, *78*(7-8), 539-542. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2009.03.080
16. Duval, S. M., McEwan, N. R., Graham, R. C., Wallace, R. J., & Newbold, C. J. (2007). Effect of a blend of essential oil compounds on the colonization of starch-rich substrates by bacteria in the rumen. *Journal of applied microbiology*, *103*(6), 2132-2141. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03455.x
17. Fasina, O. O., Tyler, R. T., Pickard, M. D., & Zheng, G. H. (1999). Infrared heating of hulless and pearled barley. *Journal of food processing and preservation*, *23*(2), 135-151.
18. https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1999.tb00375.x
19. Feng, X., Prates, L. L., Rodríguez Espinosa, M. E., Peng, Q., Zhang, H., Zhang, W., & Yu, P. (2023). Dry heating, moist heating, and microwave irradiation of cold‐climate‐adapted barley grain—Effects on ruminant‐relevant carbohydrate and molecular structural spectral profiles. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *107*(1), 113-120.
20. https://doi.org/10.1111/jpn.13708
21. Feng, X., Sun, B., & Yu, P. (2020). Using vibrational molecular spectroscopy to detect moist heating induced carbohydrates structure changes in cool-climate adapted barley grain. *Journal of Cereal Science*, *95*, 103007. https://doi.org/10.1111/jpn.13708
22. Fernando, S. C., Purvis, H. T., Najar, F. Z., Sukharnikov, L. O., Krehbiel, C. R., and Nagaraja, T. G. (2010). Rumen microbial population dynamics during adaptation to a high grain diet. *Applied and Environmental Microbiology*, *76*, 7482–7490. https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.00388-10
23. Folawiyo, Y. L., & Apenten, R. O. (1997). The effect of heat-and acid-treatment on the structure of rapeseed albumin (napin). *Food Chemistry*, *58*(3), 237-243. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00221-X
24. Giger-Reverdin, S. (2000). Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. *Animal Feed Science and Technology*, *86*(1-2), 53-69. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00159-0
25. González, L. A., Manteca, X., Calsamiglia, S., Schwartzkopf-Genswein, K. S., & Ferret, A. (2012). Ruminal acidosis in feedlot cattle: Interplay between feed ingredients, rumen function and feeding behavior (A review). *Animal Feed Science and Technology*, *172*(1-2), 66-79. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.009
26. Harder, H., Khol‐Parisini, A., & Zebeli, Q. (2015). Modulation of resistant starch and nutrient composition of barley grain using organic acids and thermal cycling treatments. *Starch‐Stärke*, *67*(7-8), 654-662. https://doi.org/10.1002/star.201500040
27. Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, *65*(4), 557-563. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.020
28. Hirashima, M., Takahashi, R., & Nishinari, K. (2005). Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. *Food Hydrocolloids*, *19*(5), 909-914.

https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.12.004
29. Hristov, A. N., Zaman, S., VanderPol, M., Szasz, P., Huber, K., & Greer, D. (2007). Effect of a saponin-based surfactant and aging time on ruminal degradability of flaked corn grain dry matter and starch. *Journal of Animal Science*, *85*(6), 1459-1466. https://doi.org/10.2527/jas.2006-467
30. Hu, G., Burton, C., & Yang, C. (2010). Efficient measurement of amylose content in cereal grains. *Journal of Cereal Science*, *51*(1), 35-40. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.08.007
31. Huang, X., Christensen, C., & Yu, P. (2015). Effects of conditioning temperature and time during the pelleting process on feed molecular structure, pellet durability index, and metabolic features of co-products from bio-oil processing in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *98*(7), 4869-4881. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9290
32. Humer, E., & Zebeli, Q. (2017). Grains in ruminant feeding and potentials to enhance their nutritive and health value by chemical processing. *Animal Feed Science and Technology*, *226*, 133-151. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.02.005
33. Janmohammadi, H., Taghizadeh, A., & Pirany, N. (2009). Chemical composition and metabolizable energy content of some barley varieties of East Azarbyjan using adult leghorn roosters. *Animal Science Researches*, *19*, 105-115. (In Persian).
34. Khampa, S., & Wanapat, M., 2007. Manipulation of rumen fermentation with organic acids supplementation in ruminants raised in the tropics. *Pakistan Journal of Nutrition. 6*, 20–27. McKinnon, J. J., Olubobokun, J. A., Mustafa, A., Cohen, R. D. H., & Christensen, D. A. (1995). Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, *56*(3-4), 243-252. http://pjbs.org/pjnonline/fin589.pdf
35. Khattab, R. Y., & Arntfield, S. D. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(6), 1113-1118. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.02.004
36. Knowlton, K. (2001). High grain diets for dairy cattle. Recent Advances in Animal Nutrition - Australia . 13: 19- https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013134556
37. Koenig, K. M., Beauchemin, K. A., & Yang, W. Z. (2013). Processing feed grains: ̥actors affecting the effectiveness of grain processing for beef and dairy cattle production. In Proceedings of the 34th Western Nutrition Conference-processing, performance and profit, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 24-26 September, 2013 (pp. 62-73). Western Nutrition Conference Planning Committee. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20143091389
38. Kokić, B., Lević, J., Chrenková, M., Formelová, Z., Poláčiková, M., Rajský, M., & Jovanović, R. (2013). Influence of thermal treatments on starch gelatinization and *in vitro* organic matter digestibility of corn. *Food and Feed research*, *40*(2), 93-99.
39. Malcolm, K. J., & Kiesling, H. E. (1993). Dry matter disappearance and gelatinization of grains as influenced by processing and conditioning. *Animal Feed Science and Technology*, *40*(4), 321-330. https://doi.org/10.1016/0377-8401(93)90061-N
40. Martínez, T. F., Moyano, F. J., Díaz, M., Barroso, F. G., & Alarcon, F. J. (2005). Use of tannic acid to protect barley meal against ruminal degradation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(8), 1371-1378. https://doi.org/10.1002/jsfa.2100
41. McKinnon, J. J., Olubobokun, J. A., Mustafa, A., Cohen, R. D. H., & Christensen, D. A. (1995). Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, *56*(3-4), 243-252. https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00828-4
42. Metzler-Zebeli, B. U., Deckardt, K., Schollenberger, M., Rodehutscord, M., & Zebeli, Q. (2014). Lactic acid and thermal treatments trigger the hydrolysis of myo-inositol hexakisphosphate and modify the abundance of lower myo-inositol phosphates in barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS One*, *9*(6), e101166. 10.1371/journal.pone.0101166
43. Mjoun, K., Kalscheur, K. F., Hippen, A. R., & Schingoethe, D. J. (2010). Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. *Journal of Dairy Science*, *93*(9), 4144-4154. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2883
44. Nasehi, M., Torbatinejad, N. M., Rezaie, M., & Ghoorchi, T. (2018). The effect of green tea waste extract on ruminal degradability and intestinal digestibility of barley grain. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, *42*(6), 624-632. 10.3906/vet-1806-52
45. Naseroleslami, R., Mesgaran, M. D., Tahmasbi, A., Vakili, S. A., & Ebrahimi, S. H. (2018). Influence of barley grain treated with alkaline compounds or organic extracts on *ex vivo* site and extent of digestion of starch. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *31*(2), 230. 10.5713/ajas.17.0212
46. Opielak, M., Andrejko, D., & Komsta, H. (2004). The influence of thermal processing with infrared rays on the elementary energy consumption in grinding wheat grains. TEKA Komisji Motoryzacji I Energetyki Rolnictwa. IV.
47. Patra, A. K., & Saxena, J. (2011). Exploitation of dietary tannins to improve rumen metabolism and ruminant nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *91*(1), 24-37. https://doi.org/10.1002/jsfa.4152
48. Paun, G., Neagu, E., Albu, C., Moroeanu, V., & Radu, G. L. (2016). Antioxidant activity and inhibitory effect of

polyphenolic-rich extract from *Betonica officinalis* and Impatiens noli-tangere herbs on key enzyme linked to type 2 diabetes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 60*, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.10.005

49. Pen, B., Takaura, K., Yamaguchi, S., Asa, R., & Takahashi, J. (2007). Effects of *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* with or without β 1–4 galacto-oligosaccharides on ruminal fermentation, methane production and nitrogen utilization in sheep. *Animal Feed Science and Technology*, *138*(1), 75-88. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.018
50. Peng, Q., Khan, N. A., Wang, Z., & Yu, P. (2014). Relationship of feeds protein structural makeup in common Prairie feeds with protein solubility, in situ ruminal degradation and intestinal digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, *194*, 58-70. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.05.004
51. Ponce, C. H., Domby, E. M., Anele, U. Y., Schutz, J. S., Gautam, K. K., & Galyean, M. L. (2013). Effects of bulk density of steam-flaked corn in diets containing wet corn gluten feed on feedlot cattle performance, carcass characteristics, apparent total tract digestibility, and ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, *91*(7), 3400-3407. https://doi.org/10.2527/jas.2012-5946
52. Rani, A., Sood, S., & Bhat, F. M. (2020). Physico-chemical and functional properties of three hull-less barley (*Hordeum vulgare*) varieties grown in the high altitude region. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *9*(9), 2069-2077. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.909.258
53. Reynolds, W. K., Hunt, C. W., Eckert, J. W., & Hall, M. H. (1992). Evaluation of the feeding value of barley as affected by variety and location using near infrared reflectance spectroscopy. In *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci*, *43*, 498-501.
54. Richards, C. J., & Hicks, B. (2007). Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *23*(2), 207-221. https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.05.006
55. Robertson, J. A., & Eastwood, M. A. (1981). An investigation of the experimental conditions which could affect water-holding capacity of dietary fibre. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *32*(8), 819-825. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740320811
56. Rose, R., Rose, C. L., Omi, S. K., Forry, K. R., Durall, D. M., & Bigg, W. L. (1991). Starch determination by perchloric acid vs enzymes: evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *39*(1), 2-11. https://doi.org/10.1021/jf00001a001
57. Safaei, K., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Sadeghi-Sefidmazgi, A., & Yang, W. Z. (2017). Response of lactating dairy cows to degree of steam-flaked barley grain in low-forage diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *101*(5), e87-e97. https://doi.org/10.1111/jpn.12565
58. Sajjadi, H., Ebrahimi, S. H., Vakili, S. A., Rohani, A., Golzarian, M. R., & Miri, V. H. (2022). Operational conditions and potential benefits of grains micronization for ruminant: A review. *Animal Feed Science and Technology*, *287*, 115285. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115285
59. Salem, A. Z. M., Szumacher-Strabel, M., López, S., Khalil, M. S., Mendoza, G. D., & Ammar, H. (2012). In situ degradability of soyabean meal treated with *Acacia saligna* and *Atriplex halimus* extracts in sheep. *J Anim Feed Sci*, *21*(3), 447-457. https://doi.org/10.22358/jafs/66113/2012
60. Schwandt, E. F., Hubbert, M. E., Thomson, D. U., Vahl, C., Bartle, S. J., & Reinhardt, C. D. (2017). Flake density, roll diameter, and flake moisture all influence starch availability of steam-flaked corn. *Kans Agric Exp Stn Res Reports*, *31*, 22. https://doi.org/10.4148/2378-5977.1356
61. Sindt, J. J., Drouillard, J. S., Titgemeyer, E. C., Montgomery, S. P., Loe, E. R., Depenbusch, B. E., & Walz, P. H. (2006). Influence of steam-flaked corn moisture level and density on the site and extent of digestibility and feeding value for finishing cattle. *Journal of Animal Science*, *84*(2), 424-432. https://doi.org/10.2527/2006.842424x
62. Singh, B., & Narang, M. P. (1991). Some physico-chemical characteristics of forages and their relationships to digestibility. *Indian Journal of Animal Nutrition*, *8*(3), 179-186.
63. Sun, B., Rahman, M. M., Tar'an, B., & Yu, P. (2018). Determine effect of pressure heating on carbohydrate related molecular structures in association with carbohydrate metabolic profiles of cool-climate chickpeas using Globar spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *201*, 8-18. https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.04.036
64. Tosta, M. R., Prates, L. L., Christensen, D. A., & Yu, P. (2019). Effects of processing methods (rolling vs. pelleting vs. steam-flaking) of cool-season adapted oats on dairy cattle production performance and metabolic characteristics compared with barley. *Journal of Dairy Science*, *102*(12), 10916-10924. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16940
65. Trotta, R. J., Kreikemeier, K. K., Royle, R. F., Milton, T., & Harmon, D. L. (2021). Flake density and starch retrogradation influence in situ ruminal degradability characteristics of steam-flaked corn and predicted starch digestibility and energetic efficiency. *Journal of Animal Science*, *99*(11), skab298. https://doi.org/10.1093/jas/skab298
66. Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., Chase, LE., Overton, TR., Mills, JK & Foskolos, A. (2015). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates

to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, *98*(9), 6361-6380. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378

67. Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
68. Yacoub, O. M., Embarek, A., Abderahim, K., Abdelmoula, E. O., Bouchra, B., Ali, O., ELHessni, A., Akhouayri, O., & Mesfioui, A. (2015). Chemical composition and zootechnical effects of essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and anise (*Pimpinella anisum* L.) on Turkey. *J. World's Poult. Res. 5*, 90-97.
69. Yang, L., Christensen, D. A., McKinnon, J. J., Beattie, A. D., & Yu, P. (2013). Effect of altered carbohydrate traits in hulless barley (*Hordeum vulgare* L.) on nutrient profiles and availability and nitrogen to energy synchronization. *Journal of Cereal Science*, *58*(1), 182-190. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.005
70. Yang, W. Z., Beauchemin, K. A., & Rode, L. M. (2000). Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, *83*(3), 554-568. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74915-0
71. Yu, P. (2011). Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure, protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. *Journal of Dairy Science*, *94*(12), 6092-6102. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4619
72. Zhao, Y. L., Yan, S. M., He, Z. X., Anele, U. Y., Swift, M. L., McAllister, T. A., & Yang, W. Z. (2015). Effects of volume weight, processing method and processing index of barley grain on in situ digestibility of dry matter and starch in beef heifers. *Animal Feed Science and Technology*, *199*, 93-103. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.005
73. Zhu, F. (2015). Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science and Technology*, *43*(2), 129-143. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.003
74. Zinn, R. A., Montano, M., & Shen, Y. (1996). Comparative feeding value of hulless vs covered barley for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, *74*(6), 1187-1193. https://doi.org/10.2527/1996.7461187x.
75. Zinn, R. A., Owens, F. N., & Ware, R. A. (2002). Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, *80*(5), 1145-115. https://doi.org/10.2527/2002.8051145x.